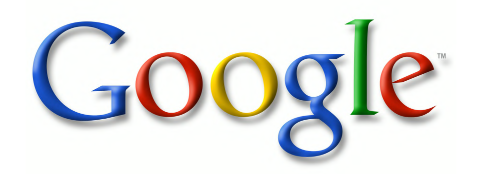


GRUNDRISS

DER

ELEKTROTECHNIK.

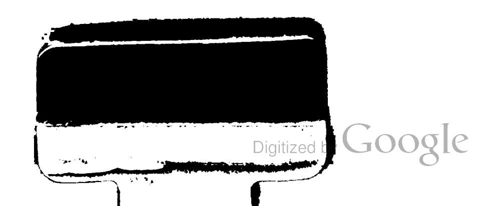
Verfasst von

HEINRICH KRÄTZERT.

II. Theil, 2. Buch.

LEIPZIG UND WIEN

FRANZ DEUTICKE



GRUNDRISS

DER

ELEKTROTECHNIK

für den praktischen Gebrauch,
für Studierende der Elektrotechnik und
zum Selbststudium.

Verfasst von

Heinrich Kratzert,

k. k. Professor für Elektrotechnik an der Fachschule für Elektrotechnik der k. k. Staatsgewerbeschule in Wien, X., vorm. Oberingenieur etc. der Vereinigten Elektricitäts-A.-G. in Wien und Chef-Elektriker etc. der Siemens & Halske A.-G.

II. Theil, 2. Buch.

2. Auflage.

Elektrische Beleuchtung.

Mit 439 Abbildungen.

LEIPZIG UND WIEN.
FRANZ DEUTICKE.
1902.

Verlags-Nr. 756.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die Quellen für das zweite Buch des II. Theiles des Grundrisses der Elektrotechnik (Elektrische Beleuchtung) bilden außer der ersten Auflage derselben Arbeit und den Fachzeitschriften hauptsächlich die klassischen Arbeiten von Clarence Feldmann, Josef Herzog, Karl Höchenegg, Gisbert Kapp, Friedrich Kohlrausch und F. Charles Raphael (Richard Apt).

Das 2. Buch des II. Theiles des Grundrisses der Elektrotechnik (Elektrische Beleuchtung) umschließt die folgenden Kapitel:

I. Kapitel (S. 1 bis 10). Allgemeines: Elektrisches Licht, Kohlen für Bogenlampen, Anordnung der Kohlen, Lichtvertheilung, Durchmesser der Kohlen, Bogenlänge, Spannung zwischen zwei Kohlen und Widerstand des Lichtbogens.

Dieses Kapitel hat in der neuen Auflage annähernd denselben Inhalt und Umfang wie in der alten.

II. Kapitel (S. 10 bis 65). Bogenlampen: Eintheilung, Handregulatoren, Mechanische Regulatoren, Hauptstromregulatoren, Nebenschlussregulatoren, Differentialregulatoren, Konstruktion der Bogenlampen, Bogenlampen mit beschränktem Luftzutritt, Kurzschlussvorrichtung, Umgekehrte Bogenlampen und mittelbares Licht, Beruhigungswiderstand für Bogenlampen, Ersatzwiderstand, Lampentransformator, Lampenzugehör, Erwärmung der Lampen, Wartung der Lampen, Aufhängung der Bogenlampen, Bogenlampenschaltungen, Beleuchtungsbetrieb und Fehlerbestimmungen an Bogenlampen.

Im Vergleiche mit der ersten Auflage erscheint dieses Kapitel gänzlich umgearbeitet. Aufnahme fanden nur neueste, mustergiltige Lampenkonstruktionen; andere Konstruktionen wurden sämmtlich ausgeschieden. Neue Aufnahme fanden auch die Dauerbrandlampen und die Lampe mit geneigten Kohlen von Ganz & Co.

III. Kapitel (S. 66 bis 81). Glühlampen: Geschichtliche Angaben, Fabrikation der Glühlampen, Vertheilung des Glühlichtes, Glühlampen und Glühlampenfassungen, Neben- und Hintereinanderschaltung der Glühlampen, Glühlampen für Hintereinanderschaltung, Anschluss der Glühlampen an die Leitungen, Schutzglocken, Lebensdauer der Glüh-

lampen, Prüfung der Glühlampen, Zusammenhang zwischen Normalkerzen, Volt, Ampère und Watt, Sortierung der Glühlampen und Anforderungen an Glühlampen.

Besondere Berücksichtigung fanden die neuesten Fortschritte auf dem Gebiete der Glühlampentechnik.

IV. Kapitel (S. 81 bis 91). Glüh- und Bogenlicht: Die wichtigsten Vortheile des Glühlichtes im Vergleiche zum Bogenlichte, Vergleichung der beiden Gleichstromsysteme, Vergleichung der Gleich- und Wechselstromsysteme und Neuere Glühlampen.

Die neue Auflage bringt auch die Glühlampen von Weißmann, Auer von Welsbach und Nernst.

V. Kapitel (S. 91 bis 136). Hilfsapparate: Sicherungen, Blitzschutzvorrichtungen, Schaltvorrichtungen, Automaten, Kontrollapparate und Schaltbretter.

Neu aufgenommen sind Sicherungen und Schalter der Siemens & Halske A.-G. und der Fabrik elektrischer Apparate A.-G. in Aarburg, Automaten und Blitzableiter der Siemens & Halske A.-G.

VI. Kapitel (S. 136 bis 232). Leitungen: Leitungsmateriale, Fabrikation der Bleikabel, Eintheilung der Leitungen, Leitungen im Freien, Befestigung der Leitungen im Freien auf Isolatoren, Leitungseinführung in Gebäude, Andere Luftleitungen, Anschluss isolierter Leitungen an blanke, Leitungsträger, Leitungskuppelungen, Spannen der Leitungen, Leitungen in geschlossenen Räumen, Kuppelung isolierter Leitungen, Metallklemmen, Verlegung durch Anstiften der Leitung, mittelst Porzellanrollen, auf Ringisolatoren, mittelst Klemmen, in Holzleisten, in Holzkästen, in Papierröhren, in die Mauer, in Gasröhren, an Isolierglocken, Unterirdische Leitungen, Eintheilung, Tunnelanlagen, Einziehsysteme, Festgelegte Leitungen, Kupferleiter, Prüfdraht-Messungen, Mehrfache Kabel, Eintheilung der Kabel, Kabelverbindungen, Abzweigungen, Vertheilungen und Anschlüsse, Unterirdische Leitungen, Unterseeische Kabel und Legung der Bleikabel.

Dieses Kapitel wurde den neuesten Errungenschaften auf dem Gebiete der modernen Elektrotechnik entsprechend umgearbeitet und besitzt annähernd denselben Umfang wie in der ersten Auflage. Als Erweiterungen seien genannt: Kabel, Endverschlüsse, Klemmen, Muffen, Kasten der Siemens & Halske A.-G., Ring- und Specialisolatoren von Hartmann & Braun, Eisendübel und Schellen von Köttgen & Co.

VII. Kapitel (S. 233 bis 257). Stromvertheilung: Wahl des Stromvertheilungssystems, Eintheilung, Reihen- oder Serienschaltung, Zweileitersystem, Gemischte Schaltung, Dreileitersystem, Fünfleitersystem, Mehrphasnesysteme, Gegenschaltung, Schleifenschaltung, Kreisschaltung,

System der Centralstationen, Vertheilungssystem für große Centralstationen, Vertheilung mittelst eines Sammlers, mittelst Sammler-Unterstationen, mittelst Gleichstromumsetzer und mittelst Wechselstromtransformatoren.

Vermehrt erscheinen in der neuen Auflage insbesondere die immer größere Bedeutung erlangenden Wechselstromsysteme.

VIII. Kapitel (S. 257 bis 269). Projektierung von Elektricitätswerken. Einleitung, Ermittelung des Strombedarfes, Wahl der Betriebskraft, Größenbestimmung für die Stromerzeuger und Sammler, Eigenschaften der Stromsysteme, Wahl des Stromvertheilungssystemes, Wahl der Spannungsverhältnisse und Anlegung des Leitungsnetzes.

Dieses Kapitel wurde mit Bezug auf die große Bedeutung des behandelten Gegenstandes für die elektrotechnische Praxis neu eingefügt.

IX. Kapitel (S. 269 bis 326). Berechnung der Leitungen. Allgemeines, Praktische mechanische Regeln, Praktische elektrische Regeln, Berechnung der Leitungen nach dem zulässigen Spannungsverluste, Berechnung der Leitungen nach dem Stromvertheilungssysteme, Berechnung der Leitungen nach der Art der Verwendung, Graphische Leitungsbestimmung, Graphische Berechnung einer Wechselstromanlage mit induktiver Belastung, Wechselstromformeln, Wechselstrombeispiele, Wellenstrom, Beispiel über die Berechnung einer Leitungsanlage für ein Elektricitätswerk und Hausinstallationen.

Neu wurden aufgenommen: Berechnung der Leitungen nach dem Stromvertheilungssystem und nach der Art der Verwendung, Graphische Leitungsbestimmung, Graphische Berechnung einer Wechselstromanlage mit induktiver Belastung, Wechselstromformeln, Wechselstrombeispiele, Beispiel über die Berechnung einer Leitungsanlage für ein Elektricitätswerk und Hausinstallationen.

X. Kapitel (S. 326 bis 386). Isolationsmessungen und Fehlerbestimmungen an elektrischen Starkstromanlagen: Kabelmesstechnik, Isolationsmessungen an Niederspannungsnetzen während des Betriebes, Isolationsmessungen an Hochspannungsnetzen während des Betriebes, Allgemeine Methoden der Fehlerbestimmung, Fehlerbestimmung während des Betriebes und Selbstthätige Fehlermeldeapparate.

Sämmtliche Paragraphe sind neu aufgenommen worden.

XI. Kapitel (S. 387 bis 397). Parallelschaltung von Ein- und Mehrphasenstrommaschinen: Allgemeines, Antrieb der Wechselstrommaschine, Schaltung der Anker, Erregung, Änderung der Netzspannung, Abschalten einer parallel geschalteten Maschine, Belastungswiderstände, Pendeln, Phasenindikator, Synchronisator, Weitere Phasenindikatoren, Parallelschalten der Ein-, Zwei- und Dreiphasenmaschinen.

Dieses Kapitel erscheint zum erstenmale in diesem Grundrisse.

XII. Kapitel (S. 397 bis 401). Regulierung: Eintheilung, Regulierung auf konstante Spannung, Stromstärke, auf Ausgleich und auf veränderliche Lichtstärke.

Auch dieses Kapitel bringt die neue Auflage zum erstenmale.

XIII. Kapitel (S. 402 bis 409). Beschreibung von Centralstationen: Die Wiener Centralstationen der Allgemeinen Österreichischen Elektricitätsgesellschaft und die Centralstationen der Internationalen Elektricitätsgesellschaft.

Diese Centralstationen gibt die neue Auflage mit den derzeitigen Angaben wieder.

XIV. Kapitel (S. 409 bis 410). Vortheile der elektrischen Beleuchtung.

Dieses Kapitel hat seinen alten Umfang und Inhalt erhalten.

Anhang (S. 411 bis 424).

I. Anhang C zur Abtheilung I der Sicherheitsvorschriften. Sonderbestimmungen für Theaterinstallationen.

II. Anhang D zur Abtheilung I der Sicherheitsvorschriften. Sonderbestimmungen für Schaustellungen und Räume zur Aufstapelung leicht entzündlicher Stoffe.

III. Allgemeine technische Vorschriften, betreffend den Schutz der Telegraphen-, Telephon- und Signal-Anlagen gegen Starkströme.

Namen- und Sachverzeichnis.

Um dem augenblicklichen Stande der Elektrotechnik möglichst zu entsprechen und behufs Befriedigung der praktischen Bedürfnisse wurde diese Arbeit in der neuen Auflage fast gänzlich umgearbeitet und bedeutend vermehrt; möge dieselbe in Fachkreisen sowie ihre Vorgängerin eine wohlwollende Aufnahme finden. Es erübrigt mir nur noch, allen Faktoren, welche zu dieser Arbeit beigetragen haben, auch an dieser Stelle meinen besten Dank zu sagen.

Wien, im September 1901.

Der Verfasser.

Inhalts-Verzeichnis.

Die elektrische Beleuchtung.

Anhang.

Die elektrische Beleuchtung.

I. Kapitel.

Allgemeines.

1. Das elektrische Licht. Der elektrische Strom besitzt die Eigenschaft, einen Leiter, welchen er durchfließt, zu erwärmen. Den Grad der Erwärmung bestimmen hauptsächlich:

1. Die Stromstärke. Die Erwärmung nimmt mit der Stromstärke zu.

2. Das Materiale des Leiters. Das Kupfer verträgt eine größere Strombeanspruchung für 1 mm^2, als das Neusilber und erwärmt sich deshalb bei gleichem Querschnitte und gleicher Stromstärke nicht so stark als Neusilber.

3. Der Querschnitt des Leiters. Je größer der Querschnitt des Leiters ist, desto geringer werden die Beanspruchung des Drahtes für 1 mm^2 und die Erwärmung sein.

4. Die Länge des Leiters. Je länger der Leiter angenommen wird, desto höher steigt, bei gleicher Stromstärke, seine Temperatur. Dieser Umstand ist von ganz besonderer Wichtigkeit für die Sicherungen der Elektricitäts-Leiter.

5. Die Dauer der Stromwirkung. Erst nach einiger Zeit stellt sich für eine bestimmte Stromstärke eine gleichbleibende, normale Erwärmung ein.

6. Die Isolation des Leiters. Die Umgebung des Drahtes (Isolation) nimmt auf seine Temperatur Einfluss.

Ein isolierter Leiter erwärmt sich durch den Strom langsamer, als ein blanker, denn ruhende, trockene Luft ist der schlechteste Wärmeleiter und die Isolation eines Leiters vergrößert die Abkühlungsoberfläche und das Ausstrahlungsvermögen desselben.

Bewegte Luft (Wind u. s. w.) ersetzt in der Nähe eines Leiters die erwärmten Lufttheilchen durch kältere und trägt so zur Abkühlung des Leiters bei.

Mit der Beanspruchung eines Leiters für 1 *mm*², oder mit der Verminderung seines Querschnittes, steigt die Temperatur bis zur Glühhitze.

Das von glühenden Stromleitern ausgestrahlte Licht, heißt elektrisches Licht.

Das Licht glühender Stromleiter nennt man Glühlicht.

Wenn die Berührung zwischen den Theilen eines Leiters Unvollkommenheiten zeigt, dann wird die Berührungsstelle heiß, verursacht Funkenbildung und schmilzt sogar, falls der geschädigte Querschnitt des Leiters ganz unzureichend ausfällt. Schickt man durch zwei sich berührende Kohlenstäbe einen elektrischen Strom, so wird die Berührungsstelle heiß, entfernt man die Kohlen von einander, so entsteht, wenn die Stromverhältnisse ausreichend sind, durch das Abreißen von Kohlentheilchen und das Glühen dieser, sowie der Lufttheilchen zwischen den Kohlen ein sogenannter Lichtbogen. Dieser Lichtbogen, welcher durch die Unterbrechung der Berührungsstelle zwischen den beiden Kohlen gebildet wurde, heißt Öffnungsfunke zum Gegensatze von dem Schließungsfunken, der nur mittelst sehr hochgespannter Ströme zu erreichen ist, wenn man die Poldrähte derselben einander sehr nahe bringt. Auch hier erfolgt dann ein Glühen der Metalltheilchen und der Luft zwischen den Polen.

Gassiot (1844) hat mit einer Batterie von 3520 Elementen (Kupfer, Zink und Wasser) einen ¹/₄ bis ¹/₂ *mm* langen Schließungsfunken erhalten.

Das durch den Öffnungs- und Schließungsfunken erzeugte elektrische Licht nennt man elektrisches Bogenlicht.

Für die elektrische Bogenlichtbeleuchtung praktisch verwendbar ist nur der Öffnungsfunke, weil zur Erzeugung von Schließungsfunken zu hohe Spannungsdifferenzen erforderlich sind. Die Erzeugung der elektrischen Funken datiert aus der Zeit der ersten Errungenschaften auf dem Gebiete der Elektricitätslehre.

Humphry Davy (1821) erzeugte zuerst einen elektrischen Lichtbogen zwischen zwei Kohlenspitzen mit einer Batterie von 2000 Elementen. Die Länge des Lichtbogens (im luftverdünnten Raume) betrug 10 *cm*.

Versuche haben erwiesen, dass sowohl vom positiven Pole (der positiven Elektrode), als auch vom negativen Pole (der negativen Elektrode) Theilchen losgerissen werden, welche gleichsam wie dünne Fäden den Raum zwischen den beiden Polen überbrücken. Ein Licht-

bogen zwischen einer Kupfer- und einer Silber-Elektrode zeigt, [1]) dass sowohl Silber auf der kupfernen, als auch Kupfer auf der silbernen Elektrode vorhanden ist.

Die Stärke des Lichtbogens ist abhängig von dem Materiale der Elektroden. Unter Voraussetzung gleicher Stromverhältnisse entsteht zwischen Platinspitzen ein schwacher, zwischen Zinkelektroden ein starker und zwischen Quecksilberelektroden ein noch stärkerer Lichtbogen. Zur Herstellung der Lichtbögen für Beleuchtungszwecke dienen Kohlen.

2. Kohlen für Bogenlampen.[2]) Davy (1821) erzeugte den elektrischen Lichtbogen zwischen zwei Stäbchen aus Holzkohle. Diese Kohle hat nicht die genügende Festigkeit, einen zu hohen Widerstand, ermöglicht kein ruhiges Licht und verbrennt sehr rasch. Gaudoin (1828) verwendete mit Theer getränkte und ausgeglühte Holzkohlenstäbchen. Diese Kohle war fester und hatte Metallklang. Foucault benützte Kokskohle in Form von prismatischen und cylindrischen Stäben. Die Kokskohle erhält man aus den, bei der Gasbereitung aus Steinkohlen verbleibenden Rückständen, wenn man dieselben in Stäbchen schneidet. Diese Kohlen sind sehr hart und verbrennen infolgedessen langsam. Für praktische Zwecke erscheinen auch diese Kohlen nicht brauchbar, da dieselben ungleich dicht sind und fremde Beimischungen enthalten, so dass der Lichtbogen unruhig und ungleichmäßig wird.

Harte Kohlen leisten mehr als weiche; für lange Lichtbögen und zur Erzielung größtmöglicher Lichtmengen, sind weiche Kohlen vorzuziehen. Zur Erreichung farbiger Lichteffekte tränkt man die Kohlen mit Salzlösungen. Kohlen, welche ein gelbes Licht geben, vermögen den Nebel leicht zu durchdringen und finden deshalb zur Beleuchtung auf Seen und auf dem Meere Verwendung.

Gute Kohlen haben folgende Eigenschaften:

1. Der Abbrand der Kohlen soll möglichst gering sein.
2. Gute Kohlen geben wenig Asche.
3. Schlägt man gute Kohlen gegeneinander, so geben sie Metallklang.
4. Gute Kohlen werden von einem Stahlmesser nicht geritzt.
5. Die Kohlen sollen nur so lange an den Spitzen rothglühen, als sie vom Strome durchflossen sind.
6. Gute Kohlen entwickeln keine undurchsichtigen Gase.

---

[1]) Dr. O. Frölich, Die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus.

[2]) Siehe auch J. Härden, Elektrotechnische Zeitschrift 1901, S. 320. Herstellung und Prüfung von Kohle für elektrotechnische Zwecke.

7. Die Asche reiner Kohlen hat eine graue, die unreiner eine röthliche Färbung.

8. Die Kohlenspitzen müssen gleichmäßig abbrennen. Bei Gleichstrom muss sich die obere Kohle gleichmäßig und in der Mitte aushöhlen, die untere regelmäßig zuspitzen. Durch ein zu starkes Zuspitzen der unteren Kohle entsteht nicht selten ein Kurzschluss des Lichtbogens.

9. Gute Kohlen schließen die Bildung von Silikaten im Lichtbogen, welche häufig zu dem Zischen, ja sogar zu dem Kurzschlusse, desselben Veranlassung geben, aus.

10. Die Farbe des Lichtbogens darf nicht zu bläulich sein.

Unreine Kohlen erkennt man schon durch die Beobachtung eines, an ihre Pole angeschlossenen Spannungszeigers. Schwanken die Angaben des Spannungszeigers regelmäßig innerhalb enger Grenzen, in der Nähe einer bestimmten Einstellung, so lauft die Dynamo ungleichmäßig, schwanken die Angaben des Spannungszeigers unregelmäßig, innerhalb weiter Grenzen, so ist die Kohle unrein. Das ungleichmäßige Laufen der Dynamo ist in der Regel auf den Antriebsmotor oder auf das Schleifen des Riemens zwischen Dynamo und Motor zurückzuführen.

Als Rohstoff für die Fabrikation der Kohlenstifte finden in jüngster Zeit hauptsächlich Graphit, Kienruß, Koks und Retortenkohle Verwendung. Krystallinischer Graphit enthält bis 98% Kohlenstoff und eignet sich zur Fabrikation der Kohlen vorzüglich. Kienruß nimmt sehr leicht Gase in sich auf. Retortenkohle kann nur mit großem Kostenaufwande von ihren Unreinigkeiten befreit werden.

Billige Kohle wird in Amerika insbesondere aus Petroleumkoks, einem Produkte der Petroleumdestillation, erzeugt. Solche Kohlen müssen mit einem dünnen Kupferüberzug versehen werden. Bessere Kohlen werden dort aus Europa bezogen.

Erst durch die Herstellung künstlicher Kohlen, die aus einer Masse gepresst werden, gelang es für praktische Zwecke entsprechende Kohlen zu erzeugen.

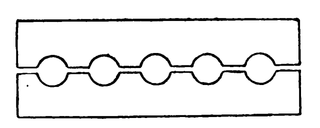


Fig. 1. Kohlenform.

Von den vielen Verfahren der Fabrikation solcher Kohlen seien hervorgehoben:

1. Verfahren. Koks oder Graphit werden fein gepulvert und um sie von Silikaten und Erden zu befreien, welche ein unruhiges Brennen des Lichtes verursachen, in alkalischen Lösungen gewaschen und mit flüssigen Kohlenwasserstoffen, Syrup und Theer in einer Knetmühle zu einem gleichmäßigen Brei gemengt. Der Brei wird entweder in einer Presse oder in Formen, Fig. 1, welche aus zwei, mit halbkreisförmigen Rinnen versehenen Theilen bestehen, zu cylindrischen Stäbchen geformt. Durch den letzteren Vorgang sollen die Kohlen ein gleichmäßigeres Gefüge erhalten. Die Kohlenstäbchen

lässt man trocknen und da dieselben jetzt noch nicht genügend fest sind, werden sie mehrmals mit Theer getränkt in feuerfeste Tiegel, deren Wände mit Kohlenpulver belegt sind, gebracht und in Glühöfen der Glühhitze ausgesetzt. Dieser Vorgang ist so oft zu wiederholen, bis das Gefüge und die Festigkeit der Kohlen entsprechen und die Kohlen Metallklang geben.

Wird das Material der Kohlen durch das obige Waschen nicht vollständig von den Silikaten und Erden befreit, so ist das Licht unruhig, das Schmelzen der Silikate beginnt, es tritt Kieselsäure, in Form von halbkugelförmigen Tröpfchen, aus der Kohle in den Lichtbogen und wenn dieselbe in den stärker erwärmten Theil desselben gelangt, erfolgt das sogenannte Zischen des Lichtbogens.

2. Verfahren. Möglichst reiner Kohlenstaub wird, mit Gummi als Bindemittel, zu einem Brei angemacht und durch Ausziehen, Schneiden oder Druck in Stäbchen geformt. Das Verfahren mittelst Druck gibt dichtere und geradere Stifte, deren Querschnitt jedoch unregelmäßig ist. In einem Ofen werden dann die Stäbchen unter Luftabschluss weitgehendst ausgeglüht, um die Kohle von kohlenwasserstoffhaltigen Gasen zu befreien, welche den Lichtbogen verlängern, schwächen und unbeständig machen. Die Stäbchen werden weiters in eine warme Zuckerlösung getaucht und um das Eindringen der Lösung in die Poren derselben zu erleichtern, nach und nach abgekühlt, dann in einem geschlossenen Gefäße so lange der äußeren Karbonisierung (Verkohlung) unterzogen, bis sie die erforderliche Festigkeit besitzen. Schließlich trocknet man die Stifte in einem Gefäße etwa 15 Stunden bei einer Temperatur von 170° C.

Um den Widerstand der Kohlen zu verringern, werden dieselben von einigen Fabrikanten mit galvanoplastischen Metallüberzügen (zumeist Kupferüberzügen) versehen.

Die Kohlen für Bogenlampen zerfallen in sogenannte Homogen- und Docht-Kohlen. Die ersteren haben eine gleichmäßige Dichte (ein gleichmäßiges Gefüge). Die Dochtkohlen, deren Kerne aus einem weniger dichten Materiale bestehen, werden nur als positive Kohlen verwendet, um die Kraterbildung am positiven Pole zu vermehren und am richtigen Orte (in der Mitte der positiven Kohle) entstehen zu lassen.

Mit der Fabrikation der Kohlen haben sich zuerst Carré in Paris und Gebrüder Siemens in Charlottenburg befasst.

Es ist noch nicht endgiltig entschieden worden, ob die Tränkung der Kohlen mit Stoffen eine Lichtvermehrung bewirkt. In neuester Zeit wurden bis zu 40% Stoffe beigemengt. Hierher gehört das neue Lichtsystem H. Bremer[1]) (in Neheim an der Ruhr). Der Zusatz besteht aus 20–50% nicht leitender Metallsalze (calcium-, silicium- oder magnesiumhaltiger Verbindungen). Bei diesen Kohlen sind die Leuchtkraft und der Kohlenverbrauch größer als bei den gewöhnlichen Kohlen. Ein geringer Abbrand der Kohlen und eine große Wirtschaftlichkeit des Lichtes sind nicht gleichzeitig zu erreichen. Das Verhältnis zwischen + und — Abbrand variiert zwischen 1·2 und 3·7, wenn die Spannung von 50 aut 28 Volt vermindert wird. Die Beanspruchung

[1]) W. Wedding, Elektrotechnische Zeitschrift, 1900, S. 546.

der Kohlen in Ampère für 1 mm^2 schwankt bei Dochtkohlen zwischen 20 und 33, bei Homogenkohlen zwischen 7 und 15. Hat der Wechselstrom eine spitze Kurvenform, so kann man bei guter Kohle bei 50 Volt zwei Bogenlampen mit niedrigen Ampère hintereinanderschalten. Solche gute Kohle (unter 25 Volt) haben zuerst Schiff & Co., Kleinschwechat sowie Siemens, Charlottenburg erzeugt. Bei größeren Stromstärken (Scheinwerfer) werden verkupferte Homogenkohlen mit Erfolg verwendet.

Die Bogenlampen mit beschränktem Luftzutritt erzeugen ein bläuliches Licht. Damit diese bläuliche Farbe nicht besonders mit der Größe des Bogens zunimmt, müssen die Kohlen möglichst rückstandfrei verbrennen und dürfen keinen Ruß absetzen. Dochtkohlen haben sich für diesen Zweck praktisch als nicht verwendbar erwiesen.

Die Preise der Kohlen sind bei verdoppelter Brenndauer bereits auf den zehnten Theil gesunken. Auf die Brennzeit bezogen stellen sich die Kohlen für Dauerbrandlampen nicht theurer als die Kohlen der Lampen mit offenen Lichtbogen.

Man prüft die Struktur der Kohlen, indem man zwei Kohlenstäbe als Elektroden in eine 25%-Lösung von Ätzkali oder Ätznatron taucht. Ein schlechtes Bindemittel verschwindet bei einem Strom von 2—3 Ampère in kurzer Zeit in der Flüssigkeit. Zunächst wird die äußere Lage der Kohle weggeätzt und dann der Kern. Je rascher dieser Process erfolgt, desto schlechter ist die Kohle.

Ewald Rasch[1]) verwendet anstatt der Kohlenstäbe Elektroden aus feuerbeständigen Substanzen (Magnesia, Kalk, Thoroxid, Zirconoxyd u. s. w.). Nach Rasch stellt sich der Wattverbrauch für eine Hefnerkerze folgend:

Elektrische Glühlampe . .	3	Watt für eine Hefnerkerze
Nernstlicht	1·5	„ „ „ „
Bogenlicht Wechselstrom .	0·8	„ „ „ „
„ Gleichstrom . .	0·5	„ „ „ „
Elektrolytbogenlicht . . .	0·3	„ „ „ „

3. Anordnung der Kohlen. Die beiden Kohlen, zwischen welchen der Lichtbogen entstehen soll, werden praktisch übereinander angeordnet.

Bei Gleichstromlampen nimmt man die obere Kohle als die positive Kohle an, weil der Krater derselben einen Reflektor für das Licht bildet und dasselbe nach unten und seitwärts reflektiert. Man erkennt die richtige Anordnung der Kohlen bei Bogenlampen, weiters durch das starke Glühen der positiven Kohle und daraus, dass bei verkehrter

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1901, S. 155.



Anordnung der Kohlen das Licht nach oben geworfen wird, was in einem geschlossenen Raume, an einer großen Helligkeit der Fläche über der Bogenlampe, ersichtlich ist.

Bei Wechselstrom werden die beiden Kohlen gleichmäßig zugespitzt und abgenützt.

4. Die Lichtvertheilung. Die Bilder der Lichtvertheilung bei Gleich- und Wechselstrom sind in den Figuren Fig. 2 und Fig. 3 veranschaulicht.[1])

Bei Gleichstrom Fig. 2 tritt die größte Helligkeit (das Maximum der Helligkeit) unter den Winkeln von 130° gegen die senkrechte Stellung der Kohlen auf.

Bei Wechselstrom, Fig. 3, ist die Lichtvertheilung nach den verschiedenen Richtungen des Raumes gleichmäßig.

5. Der Durchmesser der Kohlen hängt hauptsächlich von der Stromstärke ab. Starke Kohlen nützen sich weniger ab, besitzen jedoch verhältnismäßig eine geringere Leuchtkraft. In Gleichstromlampen wird die obere Kohle etwa doppelt so stark abgenützt, als die untere und muss deshalb entweder doppelt so lang oder besser von doppeltem Querschnitte sein. Doppelt lange Kohlen verlängern unnöthig

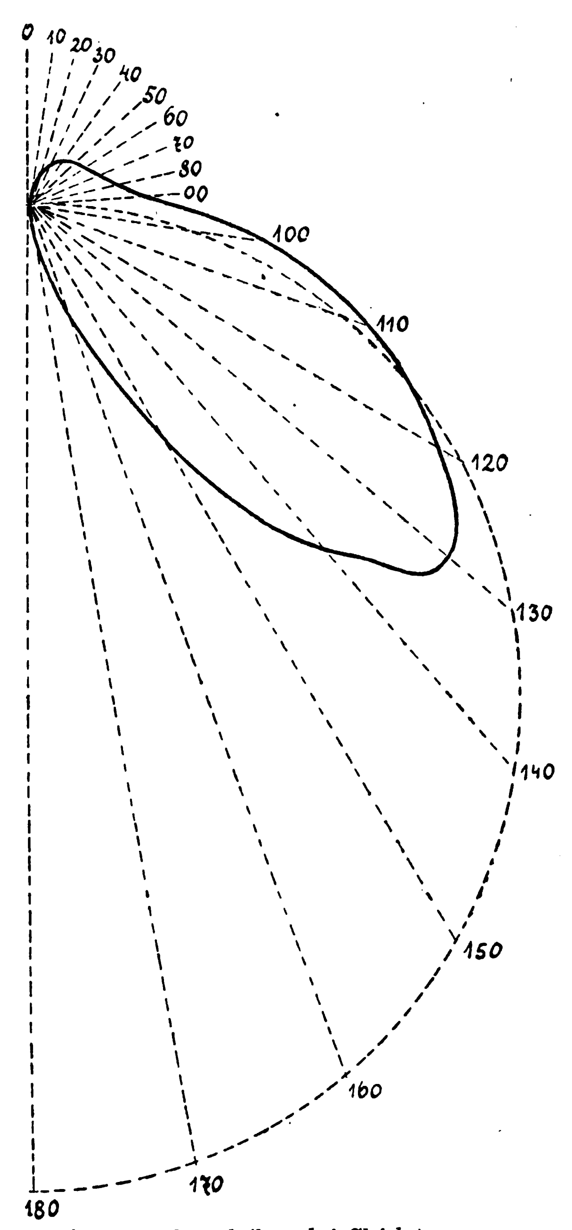


Fig. 2. Lichtvertheilung bei Gleichstrom.

[1]) Ernst Voit, Der elektrische Lichtbogen.

die Bogenlampen. Glüht die Kohle auf einer zu langen Strecke, so wird der Widerstand derselben erhöht.

Der Durchmesser der Kohle muss deshalb mindestens so groß sein, dass die Glühstrecke keine wesentliche Widerstandsvermehrung zur Folge hat.

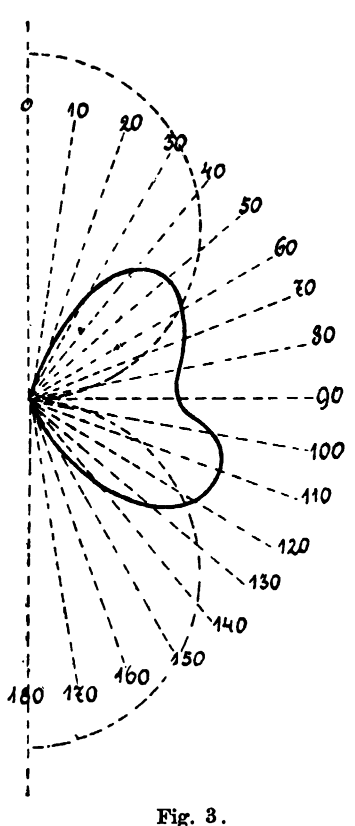


Fig. 3.
Lichtvertheilung bei Wechselstrom.

6. Die Bogenlänge. Je nachdem der Lichtbogen zu groß oder zu klein ist, wird das Licht unruhig sein oder die negative Kohle einen zu großen Schatten werfen. Die Länge des Lichtbogens bei den Stromstärken von 3 bis 100 Ampère und den entsprechenden Spannungen von 35 bis 55 Volt sind in der folgenden Tabelle, nach meinen praktischen Erfahrungen, zusammengestellt. Die diesbezüglichen Versuche stammen aus dem Jahre 1888; sie wurden für hohe Stromstärken mittelst eines großen Reflektors der Firma B. Egger & Co., welcher, anlässlich der Jubiläums-Gewerbe-Ausstellung (1888), von mir auf der ersten Laterne der Rotunde, im k. und k. Prater in Wien, zur Effektbeleuchtung aufgestellt und dirigiert wurde, ausgeführt.

(Tabellen nebenstehend.)

7. Die Spannung zwischen zwei Kohlen. Die Grenzen für die Spannung des elektrischen Lichtbogens liegen bei Gleichstrom zwischen 30 und 58, bei Wechselstrom zwischen 25 und 30 Volt.

Bei Wechselstrom verwendet man für die obere und untere Kohle gleichstarke und gleichlange Dochtkohlen.

Je kleiner man die Lichtbogenlänge einstellt, desto mehr nähert sich die blaue Farbe des Wechselstromlichtbogens der weißen Farbe des Gleichstromlichtbogens.

Kohlen für Gleichstrom.

Die oberen und unteren Kohlen sind gleich lang.

Durchmesser in *mm*		Licht-bogen-Länge in *mm*	Strom-stärke in Ampère	Span-nung in Volt	Normal-kerzen	Brenndauer in Stunden			
Dochtkohle Oben	Homogen-kohle Unten					bei 200 *mm* Länge	bei 250 *mm* Länge	bei 300 *mm* Länge	bei 350 *mm* Länge
8	5	1·1	1·5	32	120	6	7·5	9	10·5
11	7	1·5	3	35	250	8·5	11	14	15
16	10	2	6	38	600	10	13	16	18
18	11	2·5	8	39	850	10	13	16	18
19	12	3	10	40	1150	10	13	16	18
20	13	3·5	14	41	1700	10	13	16	18
21	14	4	17	42	2500	10	13	16	18
22	15	4·5	23	43	3000	10	13	16	18
24	16	5	30	44	3600	10	13	16	18
25	17	5·5	35	45	—	11	14	17	19
26	18	6	40	46	5000	11	14	17	19
28	19	6·5	45	47	—	11	14	17	19
30	20	7	50	48	6800	11	14	17	19
32	21	7·5	55	49	—	11	14	17	19
34	22	8	60	50	8900	11	14	17	19
36	23	8·5	65	51	—	11	14	17	19
38	24	9	70	52	11000	12	15	18	20
40	25	9·5	75	53	—	12	15	18	20
42	26	10	80	54	12500	12	15	18	20
44	27	10·5	85	55	—	12	15	18	20
46	28	11	90	56	14000	12	15	18	20
48	29	11·5	95	57	—	12	15	18	20
50	30	12	100	58	17000	12	15	18	20

Dochtkohlen für Wechselstrom.

Durchmesser in *mm*	Lichtbogen-Länge in *mm*	Stromstärke in Ampère	Spannung in Volt	Brenndauer in Stunden		
				bei 200 *mm* Länge	bei 250 *mm* Länge	bei 300 *mm* Länge
7	1	3	25	7	9	12
8	1·2	4·5	25	7	9	12
9	1·5	6	25	7	9	12
10	1·8	9	26	7	9	12
12	2	12	26	7	9	12
14	2·1	15	27	8	10	14
16	2·2	20	28	9	11	16
20	2·5	30	29	9	12	16
23	2·7	40	30	10	13	18
26	3	50	31	10	14	18

8. Den Widerstand des Lichtbogens[1]) berechnet man aus dem Ohm'schen Gesetze

$$W = \frac{E}{J}, \text{ d. h. der}$$

$$\text{Widerstand des elektrischen Lichtbogens} = \frac{\text{Spannung an den Kohlenspitzen}}{\text{Stromstärke in der Lampe}}.$$

II. Kapitel.

Bogenlampen.

9. Eintheilung. Die Lampenregulatoren sind nach der Art der Regulierung:

1. Handregulatoren.
2. Mechanische Regulatoren.

10. Die Handregulatoren. Beim Handgebrauche werden die Kohlen der Bogenlampen einander bis zur Berührung genähert, beim Einschalten auf den normalen Lichtbogen eingestellt und ihrem Abbrennen entsprechend genähert. Diese Regulatoren finden bei Effektbeleuchtungen als Reflektoren in Theatern, Ausstellungen, zu Projektionszwecken u. s. w. Verwendung.

11. Die mechanischen Regulatoren[2]) haben den Zweck, die Kohlen einander bis zur Berührung zu nähern, den normalen Lichtbogen einzustellen und zu erhalten; dieselben werden in

1. Hauptstromregulatoren,
2. Nebenschlussregulatoren und
3. Differenzialregulatoren eingetheilt.

12. Hauptstromregulatoren. Die magnetisierenden Windungen dieser Regulatoren sind, sowie die Kohlen, in den Hauptstromkreis

[1]) Grundlegende Arbeiten über den Widerstand des Lichtbogens haben verfasst:
Edlund, Poggend. An. Bd. 131, Seiten 586 ff.
O. Frölich, Elektrotechnische Zeitschrift, 1883, Seite 150.
Wilhelm Peukert, Zeitschrift für Elektrotechnik, 1885, IV. Heft.
F. Uppenborn, Centralblatt für Elektrotechnik, 10. Bd. Seite 102 und Elektrotechnische Zeitschrift, 1890, Seite 138.
M. Schreihage, Centralblatt für Elektrotechnik, 10. Bd. Seite 640 u. Andere.

[2]) Siehe auch H. Görges, Elektrotechnische Zeitschrift 1899, S. 444.

eingeschaltet, die Regulierung wird durch die Einwirkung derselben auf einen Eisenkern besorgt. Fig. 4 stellt das Schaltungsschema der Hauptstromregulatoren in der einfachsten Form dar. Bei einem größeren, als dem normalen Lichtbogen wird der Widerstand desselben größer und die Stromstärke in den Windungen des Solenoides, sowie dessen magnetische Kraft, kleiner. Der Eisenkern muss infolge des Übergewichtes der oberen Kohle gehoben und die letztere der unteren

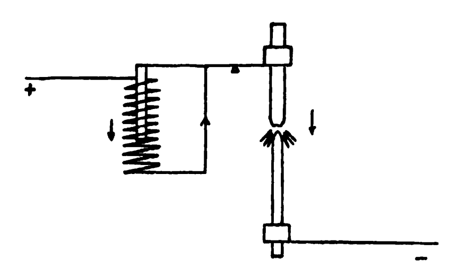


Fig. 4. Hauptstromregulierung.

Kohle genähert werden. Der Strom fließt von der positiven Klemme durch die Spule (dicke Windungen, bemessen nach der Stromstärke der Lampe), den oberen Kohlenhalter, die beiden Kohlen und verlässt die Lampe bei der negativen Klemme.

Bei der Hauptstrombogenlampe halten sich eine konstante Kraft (Federkraft, Gewicht des oberen Kohlenhalters u. s. w.) und die Wirkung einer Hauptstromspule das Gleichgewicht. Wenn $Z =$ Zahl der Windungen der Hauptstromspule, $I =$ Stromstärke, $P =$ konstante Kraft, $K =$ Konstante, dann gilt für das Gleichgewicht die Beziehung:

$$K . Z . I = P \text{ oder } I = \frac{P}{K . Z} = \text{Konstante, d. h.:}$$

1. Die Hauptstromlampe reguliert auf konstante Stromstärke und man braucht zum Einregulieren einen Stromzeiger.

2. Jede Stromstärke erfordert eine andere Bewickelung der Hauptstromspule.

3. Soll die Lampe bei gegebener Spule auf eine andere Stromstärke einreguliert werden, dann muss P verändert werden (Verstellung des Gegengewichtes, der Feder, Änderung des Hubes des Ankers oder des Spulenkernes).

Die Hauptstromlampe geht nur dann an, wenn ihr Stromkreis geschlossen ist. Es muss daher bei Stromlosigkeit die Kraft P die Kohlenstäbe zur gegenseitigen Berührung bringen. Diese Lampen eignen sich nur für einfache Parallelschaltung; sie können nicht hintereinander ge-

schaltet werden, weil sich die Spannung ungleichmäßig auf die einzelnen Lampen vertheilen würde.

Ganz & Co.[1]) bauen eine Hauptstrom-Wechselstrombogenlampe mit geneigten Kohlen Type H. Eine Wechselstrombogenlampe, deren räumliche Lichtvertheilung derjenigen einer Gleichstrombogenlampe ähnlich ist, ohne dass die eine Kohle einen Schatten wirft. Die Lampe hat eine geringe Höhe, besitzt anstatt einer großen, zerbrechlichen Glaskugel eine kleine Glaskugelkappe und ist sehr niedrig.

Die Schaltung dieser Bogenlampe kann entweder zu zweien oder mehreren in Reihe oder einzeln von einem Spannungstheiler (Divisor) erfolgen. In der Regel wird diese Lampe als Hauptstromlampe gebaut. Die Klemmenspannung muss je nach der Stromstärke 29 bis 30 Volt betragen. Die *H* Lampen werden für Stromstärken von 8 bis 15 Ampère angewendet.

Eine interessante Zusammenstellung der Fortschritte der elektrischen Lampen gab M. André Blondel[2]) am internationalen elektrotechnischen Congresse, Paris 1900.

13. Nebenschlussregulatoren. Fig. 5 zeigt das einfachste Bild eines Nebenschlussregulators; derselbe besteht aus einem Solenoid *S* in dessen Höhlung ein Eisenkern, frei beweglich hineinragt. An dem

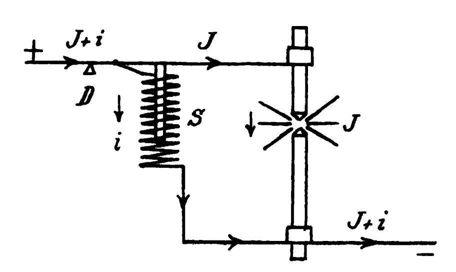


Fig. 5. Nebenschlussregulierung.

Eisenkerne ist ein Hebel befestigt, welcher auf der, dem Eisenkerne entgegengesetzten Seite eines Drehpunktes *D* den, dem unteren Kohlenhalter gegenüber befindlichen, oberen Kohlenhalter trägt. Das Regulieren der Lampe besorgt das Solenoid *S* (mit vielen Windungen eines dünnen Drahtes). Der in die Lampe, bei der positiven Klemme, eintretende Strom theilt sich in zwei, durch die Klemmen der Lampe parallel geschaltete Zweige, den Hauptstrom *J* und den Nebenschlussstrom *i*. Der

---

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik, 1901, S. 68.
Elektrotechnischer Neuigkeitsanzeiger und maschinentechnische Rundschau 1901, S. 8.

[2]) M. André Blondel. Les progrès des lampes électriques.

Hauptstrom J durchfließt die beiden Kohlen, der Nebenschlussstrom i geht durch die Windungen des Solenoides zur negativen Klemme. Der Strom i ist der Spannung des Lichtbogens proportional. Sitzen die beiden Kohlen aufeinander, so erhalten die Spannung des Lichtbogens und der Strom i einen ganz geringen Wert, der Eisenkern hebt sich und stellt den normalen Lichtbogen ein. Bei zu großem Lichtbogen dagegen, steigen die Spannung des Lichtbogens und die Stromstärke i, das Solenoid zieht den Eisenkern stärker an und stellt den normalen Lichtbogen ein. Diese Lampen regulieren daher im Gegensatze zu den Hauptstromregulatoren, deren Regulierung auf der Erhaltung gleicher Stromstärke beruht, auf gleiche Spannung (35 bis 50 Volt) des Lichtbogens.

Das Solenoid S ist bei den meisten Nebenschlusslampen durch einen Elektromagnet ersetzt, welcher vermittelst eines Ankers einen oder beide Kohlenhalter in Bewegung setzt und dadurch den Abstand der Kohlenspitzen verkleinert.

Die Bildung des Lichtbogens besorgt auch häufig ein, in den Hauptstromkreis eingeschalteter Elektromagnet mit wenigen Windungen eines dicken Drahtes.

Sobald der Strom die Kohlen durchfließt, reißt dieser Elektromagnet einen Anker an und stellt den Lichtbogen ein.

Während des Betriebes der Nebenschlusslampe halten sich eine konstante Kraft (Federkraft u. s. w.) und die Wirkung der Nebenschlussspule das Gleichgewicht. Seien $P =$ konstante Kraft, $z =$ Zahl der Windungen der Nebenschlussspule, $i =$ Stromstärke im Nebenschluss, $K =$ Konstante, dann gilt für das Gleichgewicht die Bedingung:

$$K z i = P.$$

Bezeichnen wir mit w den Widerstand des Nebenschlusses mit e die Klemmenspannung an den Kohlen, so ist $i = \frac{e}{w}$ und $K z \frac{e}{w} = P$ oder $e = P \cdot \frac{w}{z K} =$ Konstante, d. h.:

1. Die Nebenschlusslampe reguliert auf konstante Klemmenspannung und man braucht zum Einregulieren einen Spannungszeiger.

2. Soll die Lampe bei gegebener Spule auf eine andere Spannung einreguliert werden, dann muss P verändert werden.

Für eine andere Wickelung kommt der Quotient $\frac{w}{z}$ in Betracht. Bringt man mehr Windungen z an, so wird auch der Widerstand w größer, so dass der Quotient $\frac{w}{z}$ keine wesentliche Veränderung erfährt.

Bringt man mehr Windungen z von einem größeren Durchmesser an, so dass der Widerstand w derselbe bleibt, dann wird e kleiner aber ebenfalls nur unwesentlich, wenn die Spule nicht zu groß ausfallen soll. Eine Umwickelung der Nebenschlussspule ist deshalb nicht erforderlich. Diese Lampe eignet sich für Hintereinander- und Nebeneinanderschaltung. Durch Änderung des Vorschaltwiderstandes wird die Stromstärke nicht aber die Spannung geändert. Die Nebenschlusslampe kann nicht in Reihe Verwendung finden, wenn die Stromquelle eine Hauptstrommaschine ist. Hauptstrommaschinen finden jedoch jetzt für Lichtzwecke selten Verwendung. Jedesfalls können höchstens vier Lampen hintereinander geschaltet werden. Dieselbe Nebenschlusslampe ist für verschiedene Stromstärken benutzbar. Die Nebenschlusslampe bedingt größere Vorschaltwiderstände als die Differentiallampe, weil sonst starke Lichtschwankungen unvermeidlich sind. Dagegen ist die Differentiallampe theuerer als die Nebenschlusslampe. Der Verlust im Nebenschluss der Nebenschlusslampen beträgt bei Gleichstrom rund 1%, bei Wechselstrom rund 5% der Energie.

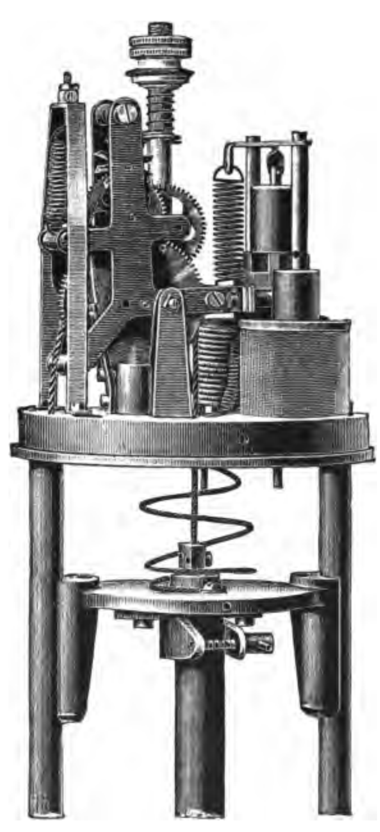


Fig. 6. Nebenschluss-Seillampe. Siemens & Halske A.-G.

1. Die Nebenschluss-Seillampe der Siemens & Halske A.-G.[1]) Aus der Figur 6 ist das Laufwerk deutlich ersichtlich, welches um einen Drehpunkt schwingt und auf einer Seilscheibe das Kupferseil trägt, an welchem der obere und der untere Kohlenhalter befestigt sind. Auf der rechten Seite bemerkt man den Anker, der durch die Nebenschlussspule nach unten gezogen wird, in diesem Falle das Sternrad, welches sich zu oberst im Laufwerk befindet, von der sperrenden Blattfeder abzieht und derart ein Zusammenlaufen der Kohlenstifte ermöglicht. Um die Reibungsverluste im Laufwerk, welche auf die Empfindlichkeit der Regulierung schädlich wirken, möglichst zu verringern,

[1]) Nachrichten von Siemens & Halske, 1900, Heft 39, XVI.

hat man mit Hilfe von Spiralfedern das Lager, in welchem sich das Laufwerk dreht, entlastet. Auf dieses Lager wirken das rechtsdrehende Moment des oberen Kohlenhalters und das linksdrehende Moment des unteren Kohlenhalters, deren Reaktion durch das Lager des Drehpunktes geht. Rechts über den Nebenschlussspulen greift eine Spiralfeder als Ersatz für die Hauptstromspule der Differentiallampe ein. Man hat nun diese Feder wesentlich stärker gewählt, als es für die Erzielung des Gleichgewichtes gegenüber der Nebenschlussspule bei normaler Bogenspannung nöthig wäre, und lässt an der linken Seite ebenfalls eine Spiralfeder eingreifen, welche ein entgegengesetzt drehendes Moment derart ausübt, dass durch den Zug der Feder das Gewicht der Kohlenhalter aufgefangen und die Reibung des Werkes verringert wird. Diese Anordnung, welche so bei diesen Lampen für Nebenschlusswickelung, wie auch für diese Differentiallampen für Gleichstrom zur Verwendung kommt, erhöht die Empfindlichkeit des Regelwerkes bedeutend und trägt nicht wenig zu dem ruhigen Brennen der Lampe bei. Die Nebenschlussseillampe wird nur für Gleichstrom gebaut, und zwar in zwei Typen. Die kleinere Type *n l* ist für Stromstärken von vier bis zehn Ampère bestimmt, während die größere Type *NL* für Stromstärken von 12 und 15 Ampère Verwendung findet. Die im Tellerdurchmesser verschiedenen Typen *n l* und *d NL* sind für die verschiedenen Kohlenlängen von 300, 400 und 500, sowie 650 nun vorgesehen, durch welche die Brenndauer bedingt wird. Sämmtliche Seillampen sind mit Sparern versehen, welche die Leuchtkraft um etwa 10%, die Brenndauer um 33% vergrößern und im Mittel 40% Kohlen sparen. Es können ein bis zwei Lampen an ein Netz von höchstens 120 Volt oder drei bis vier Lampen an ein solches von 220 Volt angeschlossen werden. Die Netzspannung muss mindestens 30% höher sein, als die Gesammtspannung der in Reihe geschalteten Lampen. Die im Folgenden beschriebene Differentiallampe derselben Firma hat eine ganz ähnliche Einrichtung.

2. Nebenschlusslampe Modell *F* für Gleichstrom von Körting & Mathiessen,[1]) Leutzsch bei Leipzig.

Bei dieser Bogenlampe, Fig. 7, wird ein schwingendes Laufwerk einerseits von einem Nebenschlussmagneten mit Schwebeanker, andererseits von dem Gewicht des oberen Kohlenhalters bethätigt. Diese Type hat vor den Lampen mit Nebenschlussunterbrechung und zwangläufigem Schaltwerk den Vorzug der wesentlich einfacheren Regulierung, da diese nur durch Einstellen einer einzigen Regulierfeder erfolgt.

---

[1]) Bezüglich der Lampen von Körting & Mathiessen sei auf das Werk dieser Firma: „Das Bogenlicht und seine Anwendung" verwiesen.



Im besonderen hat diese Lampe den Vorzug, dass die Erwärmung der Nebenschlusswicklung die Lichtbogenspannung nahezu nicht beeinflusst, und dass die Ausgleichung der Veränderung der Kohlengewichte wie in nachstehendem beschrieben, in der denkbar einfachsten Weise erreicht ist.

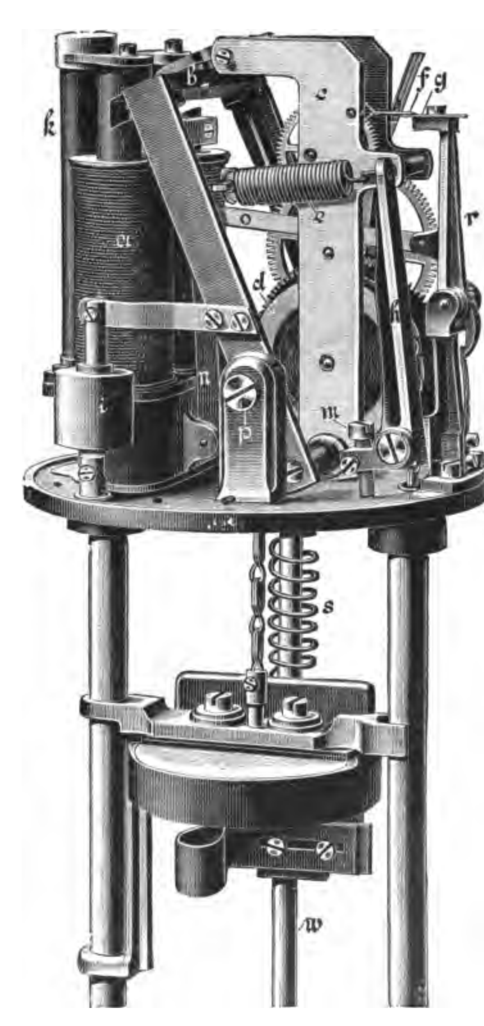


Fig. 7. Nebenschlusslampe.
Körting & Mathiessen.

Das Regelwerk der Lampe, Fig. 7, besteht aus einem Schwebemagneten *a* in Verbindung mit einem um die Achse *p* schwingenden Laufwerk *c*, über dessen Rolle *d* eine Kette läuft, welche beide bewegliche Kohlenhalter trägt. Beim Einschalten der Lampe wird der Anker *b*, der in fester Verbindung mit dem Laufwerke steht, in den seitlichen Einschnitt der Polschuhe hineingezogen, und da das Laufwerk und damit die Rolle *d* an der Schwingung des Ankers theilnehmen, so werden die Kohlenstifte, die vorher einen gewissen Abstand hatten, einander genähert. Sollten sie dabei noch nicht in Berührung kommen, so tritt das jetzt freigegebene Laufwerk durch das Übergewicht des oberen Kohlenhalters so lange in Thätigkeit, bis die Kohlenstifte zusammenstoßen. In diesem Augenblick ist der Magnet *a* stromlos geworden und die Feder *e* zieht den Anker *b* wieder zurück, wobei der Lichtbogen gebildet wird, und der Anker sich auf Gleichgewicht zwischen magnetischer Anziehung und Zugkraft der Feder *e* einstellt.

Der Nachschub der Kohlenstifte wird derart geregelt, dass der Anker *b* sich bei Maximalspannung des Lichtbogens so einstellt dass

das Flügelrad *f* von der Anschlagzunge *g* frei wird, wodurch das Laufwerk eine langsame Annäherung der Kohlenstifte gestattet, die im nächsten Augenblick durch die Arretierung des Flügelrades wieder gehemmt wird. Der Luftdämpfer *i* mäßigt die Bewegung des Ankers *b*.

Die Regulierung der Lichtbogenspannung geschieht durch Anziehen oder Nachlassen der Feder *e*, welches mittelst der im Hebel *h* sitzenden Stellschraube *m* zu geschehen hat.

Beim Brennen der Lampe wird der Nebenschlussmagnet infolge der Überwindung des Drahtwiderstandes etwas erwärmt; die vom Lichtbogen aufsteigende Wärme, welche das ganze Regelwerk erhitzt, steigert aber die Magnettemperatur erheblich, und die durch diese beiden Einflüsse entstehende Erhöhung des elektrischen Widerstandes der Nebenschlusswicklung bedingt eine Schwächung der magnetischen Kraft. Um die ursprünglich beim Regeln des Bogens vorhandene Kraft wieder zu erreichen, muss die Stärke des durch die Nebenschlusswicklung fließenden Stromes wieder hergestellt werden, wozu nach dem Ohm'schen Gesetz bei dem erhöhten Widerstand eine höhere Klemmenspannung erforderlich ist. Die Lampe wird also mit zunehmender Erwärmung der Spulen eine höhere Lichtbogenspannung annehmen.

Dieses Anwachsen der Lichtbogenspannung wird durch den Wärmekompensator *k* verhindert, der aus einem Rohrsystem besteht, welches aus einer Reihe ineinander gesteckter Rohre aus Zink- und Eisenblech gebildet ist, die wechselseitig so miteinander verbunden sind, dass die Differenzen der beiderseitigen Ausdehnungen summiert werden. Das äußere Rohr ist an dem Magnetsockel befestigt und der letzte innere Theil überträgt seine Bewegung mittels Winkelhebel *n* und Zugstange *o* auf den die Anschlagzunge *g* tragenden einarmigen Hebel *r*, Fig. 8. Durch ein entsprechendes Übersetzungsverhältnis dieser Hebel wird die Anschlagzunge *g* um so viel zurückgedrängt, als der Magnetanker und damit das Flügelrad durch die verminderte Kraft des Magneten zurückgetreten sind. Beide Bewegungen sind nahezu synchron, sodass weder eine nennenswerte Verzögerung noch Voreilung eintritt; auch ist die Ausgleichung von der Stromstärke unabhängig.

Diese Wärmeausgleichung bietet nicht nur den praktischen Vortheil, dass man die Regelspannung einer Lampe bei kalten Spulen gleich auf das richtige Maß bringen kann, sondern auch den wirtschaftlichen Nutzen, dass nicht unwesentlich an Strom gespart wird. Beim Fehlen der Wärmeausgleichung muss die Regelspannung bei kalten Spulen um so viel niedriger eingestellt werden, als die Spannung durch die Erwärmung anwächst, das macht je nach der Stromstärke und Lampenkonstruktion rund 3—7 Volt. Sind z. B. 2 Stück 10 Ampère-Lampen bei

110 Volt hintereinander geschaltet, und steigt die Regelspannung auch nur um 4 Volt, so muss die Anfangsspannung rund 37 Volt betragen. Es werden in diesem Falle anfänglich von den Lampen insgesammt 8 Volt weniger verbraucht, als bei durchwärmten Spulen, woraus eine anfängliche Stromstärke von rund 12·9 Ampère resultiert. Die anfängliche Stromstärke beträgt also 2·9 Ampère mehr als die endliche, und da nur diese als die maßgebliche anzu sehen ist, so wird das Plus von 2·9 Ampère unnütz verbraucht. Dieses Übermaß an Strom sinkt annähernd proportional zu der Zeit, bis nach Verlauf von 1·5—2 Stunden der endgiltige Zustand eingetreten ist. Für Betriebe mit überwiegender Bogenlichtbeleuchtung und völlig ausgenutzter Dampf- oder elektrischer Anlage ergibt sich außer der Ersparnis an Strom auch noch der Vortheil, dass eine Überlastung der in Frage kommenden Maschine bei gleichzeitigem Einschalten aller Bogenlampen, von dem ersten Auslösen der Regelwerke an gerechnet, vermieden wird.

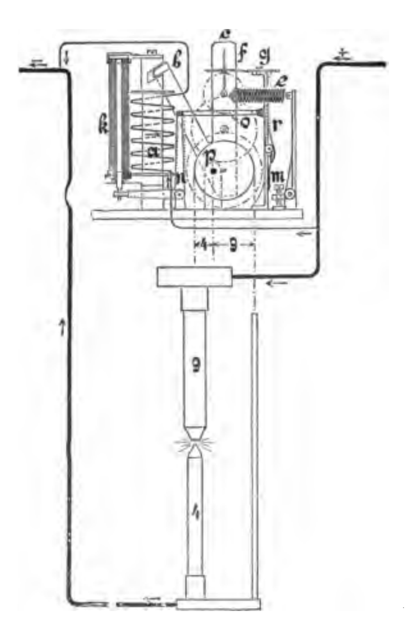


Fig. 8. Nebenschlusslampe *F*.
Körting & Mathiessen.



Fig. 9. Nebenschlusslampe *F*.
Körting & Mathiessen.

Die Kohlengewichtsausgleichung resultiert aus einem den Kohlengewichten entsprechenden Hebelverhältnis, wie in der schematischen Darstellung, Fig. 8, veranschaulicht. Die Achse *p*, um welche Anker und Laufwerk schwingen, liegt seitlich (im Bilde links) von der Achse der Kettenrolle, sodass der Horizontaldurchmesser dieser Rolle, der einmal einen gleicharmigen Hebel bildet, das andere Mal, und zwar in Beziehung zu dem schwingenden Laufwerk, einen ungleicharmigen Hebel im Verhältnis von 4 : 9 darstellt.

Dieses Verhältnis entspricht den Gewichten der an diesem Hebel hängenden Kohlenstifte. Die Produkte aus Hebellänge und Kohlengewicht ergeben stets gleiche Größen, wie weit auch der Abbrand der gleiche Längenmaße aufweisenden Kohlen vorgeschritten sein mag. Infolgedessen bleibt die Klemmenspannung der Lampe stets unabhängig von der Länge der Kohlenstifte. Fig. 9 gibt eine Gesammtansicht dieser Lampe.

3. Nebenschlusslampe Modell *S* für Wechselstrom von Körting & Mathiessen, Fig. 10 bis 12.

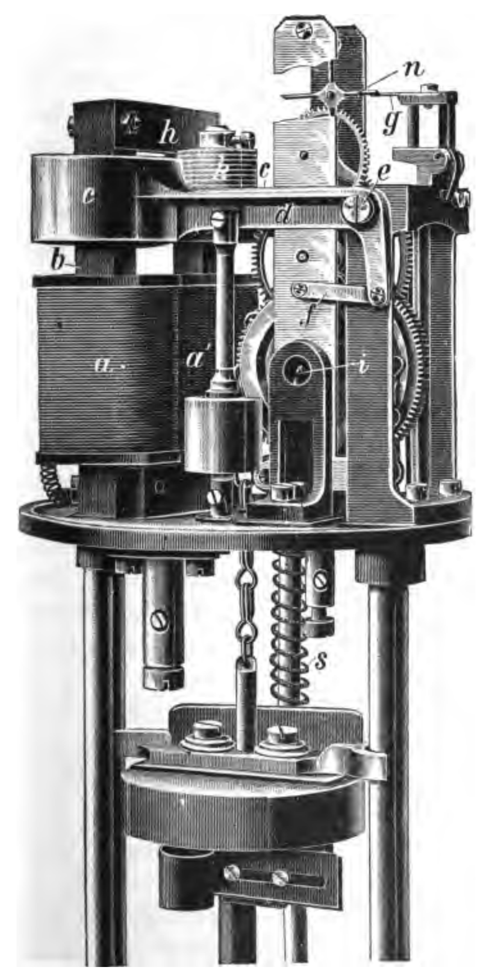


Fig. 10.
Nebenschlusslampe *S* für Wechselstrom.
Körting & Mathiessen.

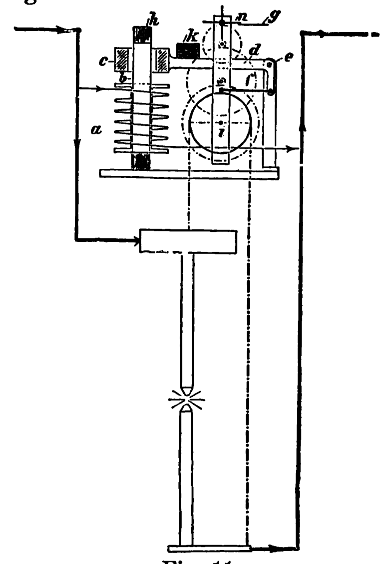


Fig. 11.
Nebenschlusslampe *S* für Wechselstrom.
Körting & Mathiessen.

Lichtbogenregelung mittels Thompson-Effekt.

Bei dieser Bogenlampe kommt die induktive Abstoßung von Ringen, die sich vor den Polen eines Wechselstrommagnetes befinden, der sogenannte Thompson-Effekt, an Stelle der sonst gebräuchlichen magnetischen Ankeranziehung zum Bilden und Regeln des Lichtbogens zur Anwendung.

Zu dem Zwecke ist ein hufeisenförmiger Elektromagnet, Fig. 10 und 11, aus der Spule a a^1 und dem Kern b bestehend, in aufrechter Stellung angeordnet, dessen Kernenden durch die beiden Induktionsringe c c^1 hindurchragen. Diese Ringe bilden mit dem Hebel d zusammen ein Gusstück. Bei Stromlosigkeit der Lampe legen sich die Ringe durch ihr Gewicht auf die Kopfflächen der Spulen, sobald aber der Magnet erregt wird, bewirkt der Richtungswechsel der Kraftlinien eine Stromerzeugung in den Ringen, und dieser sekundäre Strom, der infolge der durch die Selbstinduktion hervorgerufenen Phasenverschiebung des primären, in der Magnetwickelung zirkulierenden Stromes zeitlich dem Maximum der Kraftliniendichte nahe kommt, wird von den Kraftlinien in der Richtung ihrer Achse abgestoßen, sodass die Ringe sich von den Polen zu entfernen suchen und zwar nach Maßgabe der Intensität des durch die Nebenschlusswickelung gehenden Stromes.

Der als Winkelhebel ausgebildete Hebel d schwingt um den Drehpunkt e und überträgt seine Bewegung mittels der Zugstange f auf das um i bewegliche Laufwerk. Letzteres schwingt so weit aus, bis das Flügelrad n von der Anschlagzunge g freikommt, sodass die Kohlenstifte, die vorher auseinander standen, durch das Gewicht des oberen Kohlenhalters getrieben, zusammenlaufen können. Sobald die Kohlen sich berühren, wird der Magnet sofort stromlos, und die Ringe senken sich durch ihr Gewicht herab, wobei das Laufwerk zurückbewegt, das Flügelrad wieder arretiert und der Lichtbogen gebildet wird.

Die weitere Regelung des Lichtbogens geht in der Art vor sich, dass bei maximaler Spannung desselben die Induktionsringe so weit gehoben werden, dass das Flügelrad n jeweilig einen Augenblick von der Anschlagzunge g frei wird, sodass die Kohlen sich einander um eine Wenigkeit nähern können, worauf die Ringe sich entsprechend senken und die Arretierung des Laufwerkes vermitteln. Der Magnet b ist zur Verstärkung der induktiven Abstoßung mit einem magnetischen Rückschluss versehen, der durch die Brücke h hergestellt wird. Diese Brücke würde nicht nöthig sein, wenn die durch die Ringe hindurchgehenden Kraftlinien in ihrer Gesammtheit absorbiert, bezw. umgesetzt würden, eine solche totale Nutzbarmachung der Kraftlinien für die Induktion ist aber nicht gut erreichbar, und deshalb findet die Brücke ihren Zweck darin,

dass sie die auf der einen Seite indifferent gebliebenen Kraftlinien auf der andern Seite zur Wirkung kommen lässt. Das Eigengewicht der Induktionsringe bildet den größten Theil der Gegenkraft der induktiven Abstoßung, ergänzt wird dieses Gewicht durch die Scheiben *k*, mit deren Hilfe die Regelspannung durch Abnehmen oder Zulegen reguliert wird.

Der Hebel *d*, der, wie bereits erwähnt, mit den Induktionsringen aus einem Gusstück besteht, wird aus Aluminium hergestellt, da dieses Metall unter den diamagnetischen Leitern das günstigste Verhältnis zwischen spezifischem Gewicht und spezifischem Leitungsvermögen aufweist.



Fig. 12. Nebenschlusslampe *S* für Wechselstrom. Körting & Mathiessen.

Der Magnet mit induktiver Abstoßung hat in elektrischer Hinsicht vor dem Magneten mit Ankeranziehung den Vorzug, dass die jeweilige Stellung der Magnetarmatur ohne Einfluss auf den SelbstinduktionsKoëffizienten der Nebenschlusspulen ist, sodass die Lampenspannung von der Armatureinstellung unbeeinflusst bleibt. In mechanischer Hinsicht ergibt sich aus dieser Konstruktion durch das Fehlen der Regulierfeder ein weiterer Vortheil, denn bei Wechselstromlampen mit magnetischer Ankeranziehung sind die Federn beim Brennen der Lampe, durch die vom Anker ausgehenden, den Polwechseln entsprechenden Erschütterungen, der Gefahr des Nachlassens in erhöhtem Maße ausgesetzt. Es eignet sich diese Lampe gleich gut für einfache Parallel-, wie auch für Hintereinanderschaltung und erfordern:

4 Lampen 140 Volt Netzspannung,
3 „ 110 „ „ ,
2 „ 72 „ „ .

1 Lampe in einfacher Parallelschaltung 40 Volt Betriebsspannung.

1 Lampe einzeln vom Transformator gespeist 36 Volt Betriebsspannung.

Bei einfacher Parallelschaltung genügen statt 40, daher auch 36 Volt Betriebsspannung, wenn die überschüssige Spannung von Drosselspulen aufgenommen wird.

Fig. 12 gibt eine Gesammtansicht der nackten Lampe.

4. Nebenschlusslampe für Gleichstrom der Elektricitätsgesellschaft Hansen, Fig. 13.

Patentiert im In- und Auslande.

Die Reguliervorrichtung dieser Lampe besteht, wie aus Fig. 13 ersichtlich ist, nur aus dem feststehenden, im Nebenschluss liegenden Elektromagneten *e* und dem Laufwerk *l*. An dem um Punkt *d* schwingenden Gehäuse des Laufwerkes ist der Anker *a* angebracht, der mit der Regulierfeder *f* in Verbindung steht. Das Kettenrad, um welches die beide Kohlenhalter tragende Kette läuft, ist derart angeordnet, dass bei einer Schwingung des Laufwerkes nur der untere (negative) Kohlenhalter gehoben wird, der obere, am treibenden Gewicht des Laufwerkes angeschraubte Kohlenhalter aber vollständig still steht.

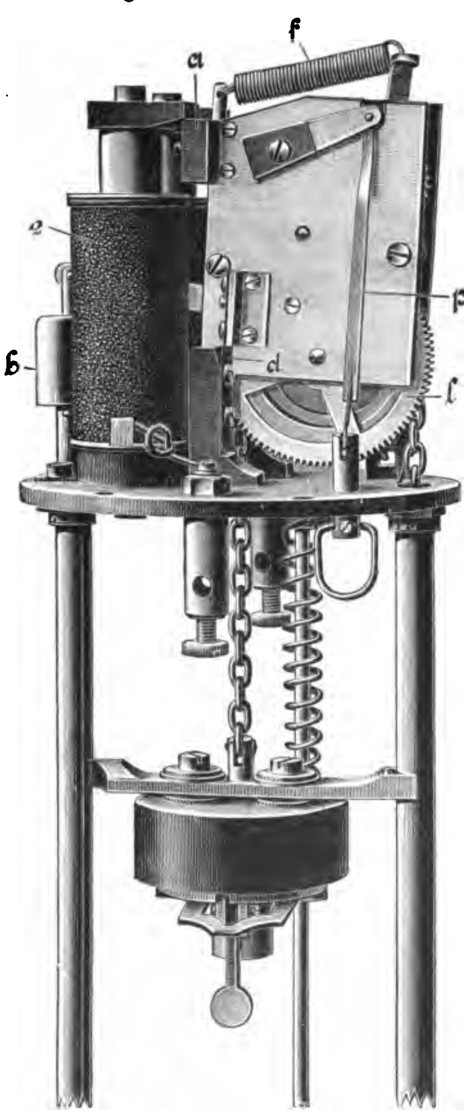


Fig. 13. Nebenschlusslampe für Gleichstrom. Elektricitätsg. Hansen.

Beim Ausregulieren des Lichtbogens braucht also nicht, wie bei anderen Bogenlampen, der durch das Gegengewicht sehr schwere obere Kohlenhalter mit bewegt zu werden. Man erreicht dadurch eine besonders empfindliche, sehr genaue Regulierung.

Funktion der Lampe: Wird die Lampe eingeschaltet, so tritt der Strom durch die positive, isolierte Klemme und durch das biegsame, gewundene Kupferkabel zum positiven isolierten Kohlenhalter. Ein geringer Theil des Stromes findet sofort seinen Weg durch den Nebenschluss des Elektromagnetes *e*; dieser erregt sich stark und zieht den Anker *a*, der, wie eben erwähnt, an dem Gehäuse des Laufwerkes *l* befestigt ist, an. Das ganze Lauf-

werk hat somit um die Achse *d* eine Schwingung gegen den Elektromagneten gemacht. Dadurch ist die untere, negative Kohle gehoben und zugleich das Pendel *p* von der unter ihn befindlichen Arretierung frei geworden. Das Übergewicht des oberen Kohlenhalters setzt nun das Getriebe des Laufwerkes in Bewegung und die Kohlenstifte nähern sich einander bis zur Berührung. Der Strom geht nun direkt durch die Kohlenstifte, der Elektromagnet wird sofort stromlos, der Anker *a* mit dem Laufwerk *l* schwingt wieder zurück und durch das gleichzeitige Zurücksinken der unteren Kohle von der oberen wird der normale Lichtbogen hergestellt.

Infolge Abbrennens der Kohlenstifte wächst der Widerstand des Lichtbogens, der Elektromagnet wird allmählich erregt, der Anker mit dem Laufwerk mehr und mehr angezogen, bis schließlich das Pendel *p* frei wird und eine Schwingung macht; die Kohlenstifte nähern sich einander, die Spannung des Lichtbogens lässt ein wenig nach, worauf das Laufwerk sich sofort zurücklegt und genau die normale Spannung des Lichtbogens wieder herstellt.

Um zu rasche Bewegungen des Mechanismus und folglich Zuckungen des Lichtes zu vermeiden, ist eine Luftbremse *b* angebracht.

Der untere Kohlenhalter hat Kugelbewegung, was ein leichtes und sicheres Einstellen der unteren Kohle nach der oberen zulässt.

Zur Regulierung des Lichtbogens dient die Spiralfeder *f*, die einerseits mit dem Anker *a* und andererseits mit dem Spannhebel in Verbindung steht; letzterer kann durch eine Stellschraube mehr oder weniger angezogen werden. Das Anziehen der Feder erhöht, das Nachlassen derselben vermindert die Spannung.

Die Kohlenstifte sind genau senkrecht über einander einzustellen und ist darauf zu achten, dass die frisch eingesetzten Stifte nicht aufeinander sitzen, sondern die beiden Kohlenspitzen 5—6 *mm* voneinander entfernt sind.

Die Lampen brennen bei mittleren Stromstärken:

einzeln	geschaltet	bei	55— 65	Volt	Spannung,
zu zweien	„	„	95—110	„	„ ,
zu dreien	„	„	135—150	„	„ ,
zu vieren	„	„	180—200	„	„ ,
zu fünfen	„	„	220—240	„	„ ,
zu sechsen	„	„	260—280	„	„ .

Nebenschluss-Bogenlampe für Wechselstrom von der Elektricitätsgesellschaft Hansen, Fig. 14.

Im In- und Anslande gesetzlich geschützt.

Die Reguliervorrichtung dieser Lampe besteht, wie Fig. 14 zeigt, aus einem im Nebenschluss liegenden Solenoid *c* und dem Laufwerk *l*.

Von den bisher bekannten Ausführungsformen weicht das Solenoid dadurch ab, dass es seinen Halt nicht durch eine innere Metallhülse, sondern durch einen der besseren Temperaturausgleichung wegen durchbrochenen Metallmantel erhält, der es von außen umfasst. Um die Stärke der in dem Solenoid erzeugten Gegenströme und somit den Widerstand desselben auf einer nahezu konstanten Größe zu erhalten, ist innerhalb des Solenoids ein hohler Eisenkegel *mk* angeordnet, der den inducierten Gegenstrom von vorneherein in einer gewissen Stärke auftreten lässt, so dass der mit wechselnder Stromstärke in das Solenoid hineingezogene Eisencylinder *m* einen wesentlichen Einfluss auf die Bildung von Gegenströmen nicht mehr ausübt. Die Stärke des das Solenoid durchfließenden Primärstromes unterliegt demzufolge einer so minimalen Änderung, dass die Regulierung nicht nachtheilig beeinflusst werden kann. Der Eisencylinder *m* ist an dem langen Arm des um *d* drehbaren Hebels *h* aufgehängt, dessen kürzerer Arm mittelst Zugstange an das Laufwerkgehäuse angelenkt ist. Im stromlosen Zustande wird der Eisencylinder durch das Eigengewicht des Laufwerkes in höchster Lage gehalten. Bei einer Schwingung des Laufwerkes *l* um seine Lagerschneiden *d* wird lediglich der untere Kohlenhalter gehoben, beziehungsweise gesenkt, der Lichtbogen also nur durch die untere Kohle gebildet.

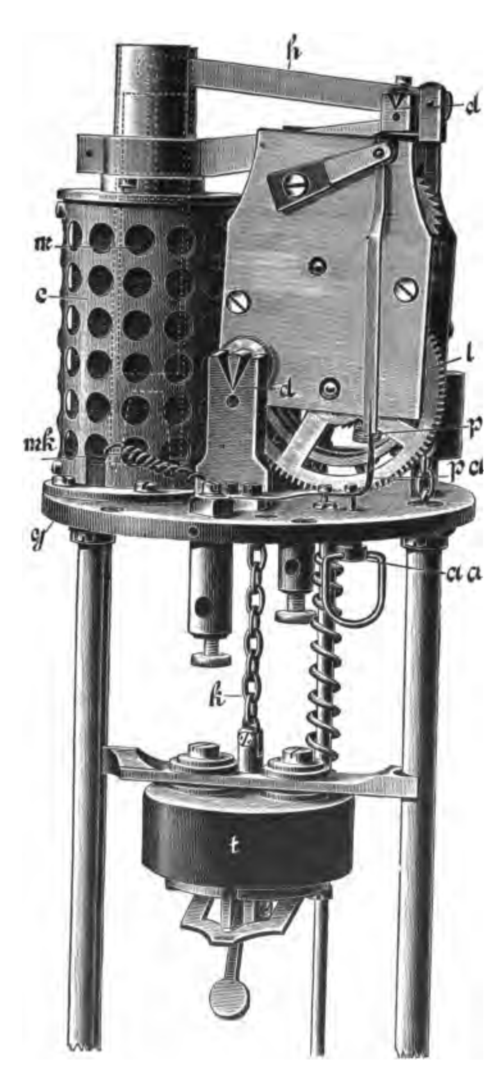


Fig. 14. Nebenschlusslampe für Wechselstrom. Elektricitätsg. Hansen.

Funktion der Lampe: Wird die Lampe eingeschaltet, so zieht das im Nebenschluss liegende

Solenoid *c* den Eisencylinder *m* an und veranlasst dadurch eine Schwingung des Laufwerkes um seine Lagerschneiden *d*. Dadurch ist die untere Kohle gehoben und zugleich das Pendel *p* von der unter ihm befindlichen Arretierung *pa* frei geworden. Das Übergewicht des oberen Kohlenhalters setzt nun das Getriebe des Laufwerkes in Bewegung und die Kohlenstifte nähern sich bis zur Berührung. Hierdurch wird der Hauptstrom sofort kurz geschlossen, das Nebenschlusssolenoid verliert seine Wirkung, das Laufwerk schwingt wieder zurück, damit sinkt auch die untere Kohle und der Lichtbogen bildet sich.

Mit dem Sinken des Laufwerkes wird zugleich das Pendel *p* wieder arretiert und es herrscht nun Gleichgewicht zwischen dem Eigengewicht des Laufwerkes und der Anziehungskraft des Solenoides, bis durch den Abbrand der Kohlen die letztere infolge des dann stärker werdenden Nebenschlussstromes wieder überwiegt und hiedurch die Hemmung wieder ausgelöst wird. Eine mit dem Gehäuse des Laufwerkes stehende Luftbremse vermeidet zu rasche und ruckweise Bewegungen des Mechanismus.

Zur Regulierung des Lichtbogens dient eine Spiralfeder, die durch einen Spannhebel mit Stellschraube mehr oder weniger angespannt werden kann. Das Anziehen der Stellschraube erhöht, das Nachlassen derselben vermindert die Spannung. Erscheint der Lichtbogen violett, so ist die Spannung zu hoch und muss vermindert werden.

Man achte auf genau senkrechtes Übereinanderstehen der Kohlenspitzen und beim Neueinsetzen der Stifte auf den unbedingt nöthigen Abstand der beiden Kohlenspitzen von 5—6 *mm*.

Die Lampen brennen:

einzeln	geschaltet	bei	36	Volt	Netzspannung,	
zu zweien	„	„	72	„	„	,
zu dreien	„	„	100	„	„	,
zu vieren	„	„	130	„	„	.

6. D i e L a m p e f ü r P a r a l l e l s c h a l t u n g v o n P i e t t e - K ř i ž i k hat den, aus der Fig. 15 ersichtlichen Stromverlauf. Der Strom fließt von der positiven Klemme zum oberen Kohlenhalter, durch die obere und untere Kohle, durch die Hauptspule *H* zur negativen Klemme, der Nebenstrom von der positiven Klemme durch die Nebenschlussspule zur negativen Klemme.

Sind beim Einschalten der Lampe die Kohlen von einander entfernt, so zieht die Nebenspule den Kern K_1 an und bringt die Kohlen miteinander in Verbindung. Dadurch ist der Hauptstromweg geschlossen; sodann wird, durch das Anziehen des Kernes K_2, von der Hauptspule *H*

der Lichtbogen gebildet und, durch die gegenseitige Wirkung der Spulen *H* und *N*, gleich lang erhalten.

Es ist besonders darauf zu achten, dass sich die Gleitrollen R_1, R_2, R_3 und R_4 nicht reiben.

Ist die Schnurlänge richtig und der Lichtbogen bei langen Kohlen größer, als bei kurzen, so müssen die beiden Eisenkerne in den Kohlenhalterrohren etwas in die Höhe geschoben werden; ist der Lichtbogen bei langen Kohlen kleiner, als bei kurzen, so müssen die Kerne gesenkt werden. Das Verschieben wird in diesem oder im entgegengesetzten Sinne, Beobachtungszeiten von mindestens je 10 Minuten vorausgesetzt, so oft vorgenommen, bis die Lampe bei langen und kurzen Kohlen mit gleichem, normalen Lichtbogen brennt.

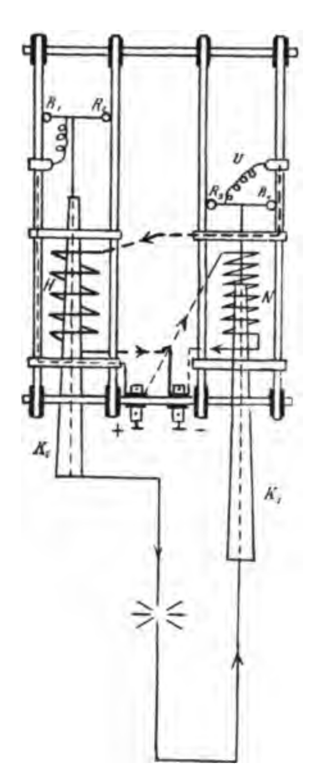


Fig. 15. Lampe für Parallelschaltung.
Piette-Křížik.

14. Differentialregulatoren. Die schematische Zeichnung in Fig. 16 stellt die wesentlich wichtigsten Bestandtheile der Differentialregulatoren und den Stromverlauf in denselben dar. Diese Lampen haben,

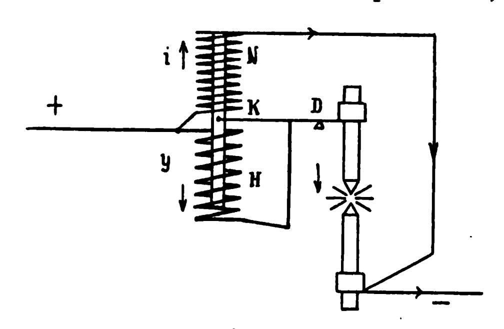


Fig. 16.
Schema der Differentiallampe.

sowie die Nebenschlusslampen, zwei Stromwege zwischen den Klemmen. Im Hauptstromkreise herrscht die Stromstärke *Y*, im Nebenschlusse fließt der Strom *i*. Der Hauptmagnet besteht aus wenigen Windungen eines dicken Drahtes (der Durchmesser des Drahtes ist nach der Stromstärke der Lampe zu berechnen), der Nebenschlussmagnet aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes. Der wesentliche Unterschied zwischen der Nebenschluss- und der Differentiallampe ist der, dass die beiden Spulen auf denselben Eisenkern oder auf mit einander verbundene Eisen-

kerne einwirken. Ist der Lichtbogen zu groß, so wird der Widerstand des Hauptstromkreises größer und die Stromstärke desselben kleiner, während im Nebenschlussmagnete die Stromstärke, also auch die magnetisierende Kraft, wächst. Die magnetisierende Kraft des Nebenschlussmagnetes *N* wird deshalb überwiegen und den Eisenkern *K* nach aufwärts, sowie die obere Kohle nach abwärts bewegen. *D* stellt den Drehpunkt der gegenseitigen Bewegung zwischen Eisenkern und Kohle dar. Bei zu geringem Widerstande des Lichtbogens steigt der Hauptstrom an, die Spule *H* zieht den Eisenkern in seine Höhlung und hebt die obere Kohle bis zur Einstellung des normalen Lichtbogens. Die endgiltige Wechselwirkung der beiden Spulen *H* und *N* ist eine Differentialwirkung (Wirkung der Unterschiede magnetischer Kräfte). Die Differentialregulatoren regulieren demnach auf gleichen Widerstand des Lichtbogens.

Die beiden Spulen der Differentiallampe wirken in entgegengesetzten Richtungen auf den Kern. Es resultiert somit eine Differenzwirkung. Setzen wir $K =$ Konstante, $Z =$ Windungszahl der Hauptspule, $z =$ Windungszahl der Nebenschlussspule, dann herrscht im Gleichgewichtszustande die Beziehung:

$K\,Z\,I = z\,i$. Bezeichnen wir ferner mit i die Stromstärke in der Nebenschlussspule, mit e die Klemmenspannung und mit w den Widerstand des Nebenschlusses, so ist $i = \frac{e}{w}$ und

$$K\,Z\,I = z\frac{e}{w} \text{ oder } \frac{e}{I} = \frac{K\,Z\,w}{z} = \text{Konstante, d. h.:}$$

Die Differentiallampe hält das Verhältnis der Klemmenspannung zur Stromstärke, also den Widerstand des Lichtbogens, konstant; sie reguliert demnach auf konstanten Widerstand des Lichtbogens. Diese Lampen eignen sich für Hintereinanderschaltung. Wegen der vollkommenen Regulierfähigkeit der Differentiallampe ist für dieselbe ein geringerer Beruhigungswiderstand erforderlich als für die Nebenschlusslampe. Durch Veränderung des Beruhigungswiderstandes verändern sich Stromstärke und Spannung.

Die Vorzüge der Differentiallampe vor der Nebenschlusslampe sind:

1. Die empfindlichere Regulierbarkeit.
2. Der kleinere Vorschaltwiderstand.
3. Größerer Schutz der Maschine vor Überlastung beim plötzlichen Einschalten größerer Reihen von Lampen.
4. Bessere Vereinigung mit den verschiedenartigen, selbstthätigen Kurzschlussvorrichtungen.

Dagegen hat die Differentiallampe im Vergleiche zur Nebenschlusslampe die Nachtheile, dass sie an eine bestimmte Stromstärke gebunden und theuerer ist.

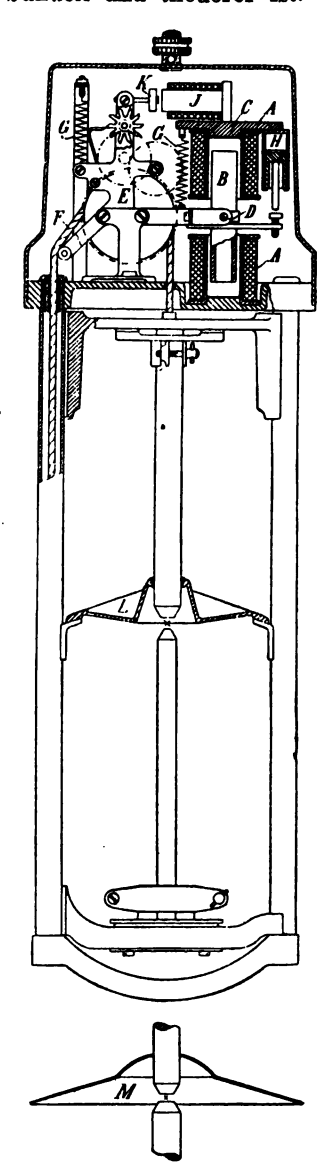


Fig. 17. Differential-Seillampe. Siemens & Halske A.-G.

Die Differential-Seillampe der Siemens & Halske A.-G.[1]) Fig 17 bis 19. Der Differentialelektromagnet besteht aus 4 Spulen *A A*, Fig. 17, die paarweise über einander angeordnet sind, und aus einem *H*-förmigen Eisenkörper *B*, dessen 4 Schenkel in Spulenöffnungen hineinragen. Die beiden oberen Spulen sind untereinander durch eine Eisenplatte *C* verbunden und werden von zwei auf dem Lampenteller stehenden Säulen getragen. Die beiden unteren Spulen sind unmittelbar am Lampenteller befestigt. Die oberen Spulen sind in den Lampenstrom und die unteren perallel zum Lichtbogen geschaltet. Der *H*-förmige Eisenkörper des Elektromagnetes ist in einer am Laufwerk befestigten Gabel *D* zwischen Zapfenschrauben gelagert.

Das Laufwerk *E* besteht aus einem Hauptrad, zwei Zwischenrädern und einem Sternrad, die zwischen zwei Platinen gelagert sind. Durch ein Gesperre ist das Hauptrad mit einer Schnurscheibe gekuppelt, in deren Nuth ein aus 1000 feinen Kupferdrähten bestehendes Seil *F*, nach welchem die Lampe benannt ist, läuft. Das Seil trägt an seinen Enden die beiden Kohlenhalter. Durch das Übergewicht des oberen Kohlenhalters wird das Laufwerk in Bewegung gesetzt.

Um die Reibung in der Lagerung des Laufwerkes zu vermindern, ist dasselbe zu beiden Seiten seines Drehpunktes an Federn *G* aufgehängt. Die Federn tragen sowohl das Laufwerk, als auch die mit demselben in Verbindung stehenden Kohlenführungen und entlasten dadurch die Zapfen der Laufwerklagerung. Die Lampe ist daher auch gegen Stöße sehr unempfindlich.

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1899, S. 444.
Nachrichten von Siemens & Halske, Elektrotechnische Zeitschrift 1900, Heft 39, XVII.

Um ferner zu vermeiden, dass beim Einschalten durch allzu schnelles Auseinanderziehen der Kohlen der Bogen wieder abreißt und ein Schlagen der Lampen eintritt, ist bei den Gleichstromlampen neben der allgemein üblichen Dämpferpumpe noch eine besondere Ventilpumpe *H* vorgesehen, welche das feine Spiel des Laufwerkes in keiner Weise behindert, dagegen groben Schwankungen, welche das Schlagen der Lampe herbeiführen, einen starken, sofort wirkenden Widerstand entgegensetzt. Fig. 18 und 19 zeigen die Anordnung dieser Pumpe hinter den Hauptstrommagneten rechts oben, während die Dämpferpumpe links unten neben dem Laufwerk sichtbar wird.

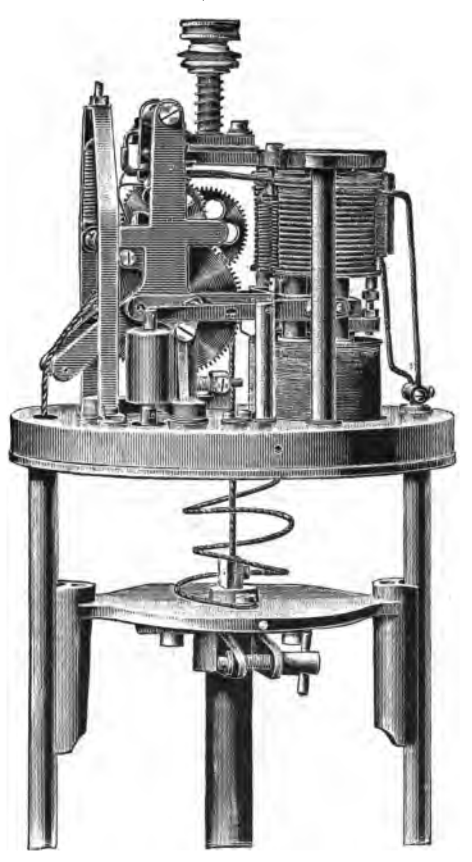


Fig. 18. Differential-Seillampe. Siemens & Halske A.-G.

Reihenschaltungslampen erhalten den auf der Eisenplatte *C* angeordneten Nebenschließer *I*, dessen Anker *K* am Laufwerk befestigt ist. Die Gleichstromlampen sind mit einem Sparer *L*, einem hohlkegelförmigen, emaillierten Eisenkörper versehen, der dicht über dem Lichtbogen angebracht ist und der Lichtausstrahlung kein Hindernis bietet. Bei dieser Anordnung brennen die Kohlen in sauerstoffarmer Luft, wodurch ohne Lichtverlust eine Kohlenersparnis von rund 40% erzielt wird. Beschränkt man den Luftzutritt zum Lichtbogen noch mehr, dann wird das Licht unruhig. Die Wechselstromlampen haben an Stelle des Sparers einen Reflektor *M*, der vermöge seiner eigenartigen Gestalt das ganze von der unteren Kohle ausgestrahlte Licht auffängt und hievon 50% für die Bodenbeleuchtung nutzbar macht, während man durch flache Reflektoren nur 20% der von der unteren Kohle ausgestrahlten Lichtmenge gewinnt. Die Lampen haben keine Phasenverschiebung; ihr Leistungsfactor ($\cos \varphi$) ist daher gleich Eins.

Die Gleichstromlampen unterscheiden sich von den Wechselstrom-

lampen nur durch die Verschiedenheit der Wickelung der Nebenschlussspulen und der Öffnungen in den Kohlenzangen. Für welche der beiden Stromarten eine Lampe bestimmt ist, lässt sich nur an der Anordnung des Sparers oder Reflektors erkennen.

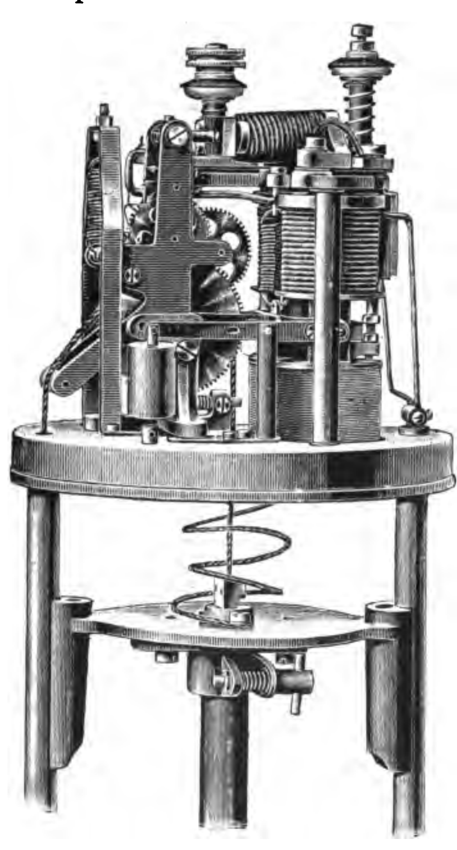


Fig. 19.
Differential-Seillampe mit Nebenschließer.
Siemens & Halske A.-G.

Für Gleichstrom werden die Lampen (Type *Gl* und *gl*) benutzt, und zwar für Stromstärken von 4 bis 10 Ampère Type *gl*, für Stromstärken von 12, 15 und 20 Ampère die Type *Gl* mit größerem Teller. Die Typen wurden wiederum für verschiedene Kohlenlängen von 300, 400, 500 und 600 *mm* geliefert, wie dies die oben stehenden Abbildungen darthun. Die Lampen können zu zweien in Reihe an ein Netz von höchstens 120 Volt oder zu 3 bis 4 in Hintereinanderschaltung an ein solches von 200 Volt angeschlossen werden. Bei 20 Ampère-Lampen ist außer dem Zusatzwiderstand ein Anlasser erforderlich. Reihenschaltung von 3 bis 4 Lampen ist nur bis 15 Ampère ausführbar. Sie erfordert außer dem Zusatzwiderstand einen Minimalausschalter.

Sollen mehr als 4 Lampen in Reihe geschaltet werden, so sind besondere Maßregeln zu treffen. Es wäre ja denkbar, dass durch irgend welche Einflüsse einmal eine Kohlenhaltertraverse sich im Gestänge klemmt oder die rechtzeitige Erneuerung der Kohlen versäumt wird. In diesem Falle würde der Lichtbogen der fraglichen Lampe eine unzulässige Länge, beziehungsweise Spannung annehmen, während die Kohlen der anderen in derselben Reihe befindlichen Lampen entsprechend zusammenliefen. Eine unvermeidliche Folge hievon wäre die Zerstörung der Nebenschlussspulen der betreffenden Lampe und unter Umständen auch ein Verbrennen des Sparers. Um dem vorzubeugen, rüstet die Siemens & Halske A.-G. die Differentialseillampen, welche für

größere Reihen Verwendung finden sollen, mit einem selbstthätigen Nebenschließer, beziehungsweise Kurzschließer und gegebenen Falls mit einem Ersatzwiderstand aus und liefert die Typen *gln* und *Gln*, d. h. Gleichstromdifferentiallampen mit Kurzschließern, sowie die Typen *glw* und *Glw*, d. h. Gleichstromdifferentiallampen mit Nebenschließern und Ersatzwiderstand. Der Nebenschließer ist auf Fig. 18 ersichtlich. Es befindet sich im Rollwerk ein kleiner Elektromagnet. Sobald infolge einer Arretierung das schwingende Laufwerk zu sehr nach rechts herübergezogen wird, schaltet ein Kontakt die Windungen des Magnetes ein, und der kräftig wirkende Magnet selbstschaltet entweder einen Ersatzwiderstand parallel zum Lichtbogen (Type *Glw* und *glw*), oder er schließt die Lampen direkt kurz (Type *Gln* und *gln*). Sobald die Störung an der betreffenden Lampe, welche häufig nur vorübergehender Natur ist, nachlässt, indem etwa die Kohlen zusammenlaufen, wird bei den Nebenschließern mit Ersatzwiderstand der Elektromagnet sofort stromlos und hebt den Nebenschluss der Lampe selbstthätig auf.

Bei Verwendung der Kurzschließer findet das Wiedereinschalten (Zünden) der Lampen nicht selbstthätig statt, da der Magnet auch nach dem Zusammenlaufen der Kohlen dem Strom einen besseren Weg bietet, als die Lampe. Die Verwendung des Nebenschließers mit Ersatzwiderstand ist für Reihen von weniger als 20 Lampen geboten, bei Reihen von mehr als 20 Lampen kann von der Verwendung eines Ersatzwiderstandes abgesehen werden.

Die Differentiallampen mit Nebenschließern und Ersatzwiderständen werden für dieselben Stromstärken und Kohlenlängen geliefert wie die Lampen ohne diese Hilfsapparate.

Die Netzspannung muss für diese Lampen mindestens 15% höher sein, als die Gesammtspannung der in Reihe geschalteten Lampen.

Um die Ökonomie des Bogenlichtes zu erhöhen, sucht man den Vorschalt- oder Beruhigungswiderstand, wo es angängig ist, möglichst gering zu wählen oder wo thunlich ganz fortzulassen. Insbesondere wird es störend empfunden, dass bei den üblichen Netzspannungen von 110 bis 120 Volt etwa 30 bis 33% der zugeführten Energie in diesen Widerständen verzehrt werden. Die Siemens & Halske A.-G. erzielt auf zweierlei Weise eine bessere Ausnützung der Energie und zwar einmal durch Verwendung von Lampen mit erhöhter Lichtbogenspannung, Type *glh*, das andere Mal durch Verwendung von Lampen mit niedrigerer Lichtbogenspannung, Type *gld* und Type *glf*.

Die Differentialseillampen mit erhöhter Lichtbogenspannung weisen eine Lampenspannung von 44 bis 45 Volt auf, so dass je zwei in Reihe

eine Nutzspannung von 95 Volt haben und bei den üblichen Netzspannungen von 110 Volt nur etwa 20% der Energie verloren gehen. Die Lampen sind mit Sparern versehen, geben ein besonders ruhiges Licht und haben etwa 20% mehr Leuchtkraft, als die normalen Differential-Seillampen gleicher Stromstärke. Sie können für Netzspannungen von 220 Volt auch in Reihen zu je vier geschaltet werden.

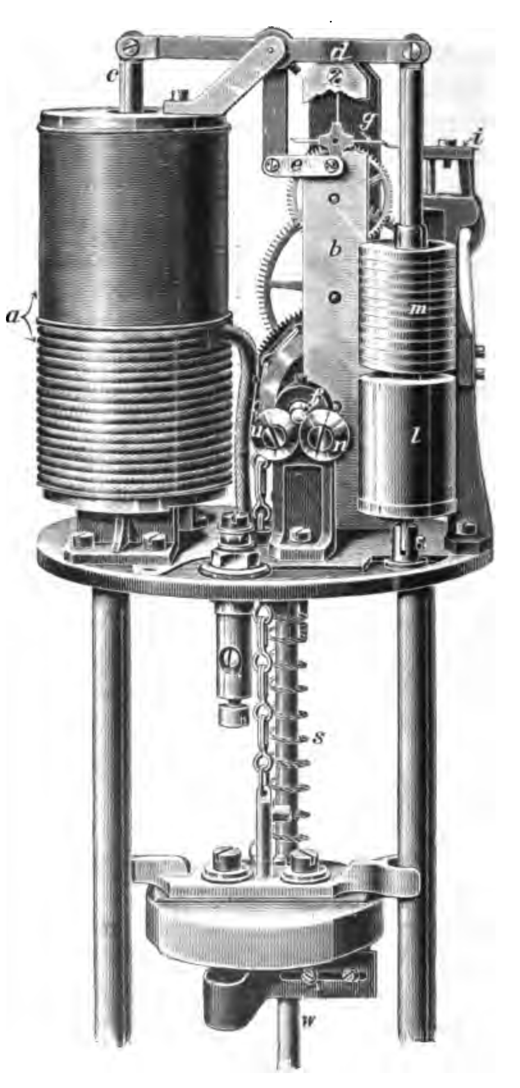


Fig. 20. Nebenschlusslampe Modell *I*. Körting & Mathiessen.

Ist eine weitergehende Theilung des Lichtes erwünscht, so kommen die Gleichstromdifferentialseillampen für Drei- und Sechs-Schaltung mit erniedrigter Lichtbogenspannung zur Verwendung. Dieselben sind mittelst eines Anlasswiderstandes einzuschalten und brennen, abgesehen von den Lampen für drei oder vier Ampère, ohne jeglichen Zusatzwiderstand mit einer Bogenspannung von je 35 Volt. Für Stromkreise von 220 Volt können je sechs dieser Lampen in Reihe geschaltet werden, doch ist alsdann ein Minimalausschalter vorzusehen. Die Lampen *g l d* werden für Stromstärken bis zu 12 Ampère gebaut.

2. Differentiallampe Modell *I* für Gleichstrom von Körting & Mathiessen, Fig. 20 bis 22.

Die Differentiallampe Modell *I* ist in gleicher Weise gegen Beeinflussung des Lichtbogens durch Veränderung der Kohlengewichte geschützt, der Wärmekompensator gelangt hier hingegen nicht zur Anwendung, da Differential-

lampen eine Wärmeausgleichung nicht so dringend erfordern, wie Nebenschlusslampen.

Sinkt nämlich bei der Differentiallampe die Anzahl der Ampèrewindungen in der Nebenschlusspule infolge des durch die Erwärmung der Wickelung eintretenden höheren Widerstandes, so wird die Ampèrewindungszahl der Hauptstromspule durch Anwachsen des Lichtbogenwiderstandes in demselben Maße herabsinken, bis der magnetische Gleichgewichtszustand wieder erreicht ist. Die hierdurch eintretende Verminderung des Hauptstromes gleicht zum Theil das durch die Erwärmung der Spulen verursachte Ansteigen der Lichtbogenspannung wieder aus.

Die Regelwerke beider Lampenkonstruktionen stimmen typisch insoweit überein, dass auch Modell „*I*“ ein schwingend gelagertes Laufwerk enthält, welches von einem elektromagnetischen Theil und dem Gewicht des oberen Kohlenhalters bethätigt wird. Die Einzelheiten sind folgende:

Ein Doppelsolenoid a, Fig. 20 und 21, enthält eine Nebenschluss- und eine Hauptstromspule, welche einen gemeinschaftlichen, an der Stange c hängenden Eisenkern nach Maßgabe ihrer jeweiligen Kräfte einzuziehen suchen. Da der Eisenkern das in der einen oder andern Spule entstehende Übermaß an Kraft durch eine entsprechende Einwirkung auf den Lichtbogen, beziehungsweise dessen elektrische Größen zu beseitigen sucht, so wird ein Ruhezustand des Regelwerkes nur eintreten können, wenn beide Spulen gleiche Ampèrewindungszahl haben. Wächst also die Stromstärke i, so muss die Spannung e des Lichtbogens im gleichen Maße wachsen, damit das Gleichgewicht der Spulen erhalten bleibt, ist aber das Verhältnis beider Größen gleich, so ist auch der Widerstand w des Lichtbogens stets derselbe, denn $\frac{e}{i} = w$.

Der Eisenkern überträgt seine Bewegungen durch den dreiarmigen Hebel d und die Zugstange e auf das Laufwerk b, welches um die auf Rollen gelagerte Achse f schwingt. Der Hebel d steht ferner mit dem Luftdämpfer l in Verbindung, der die Bewegungen des Eisenkerns verlangsamt. Auf den Luftdämpfer sind Regulierscheiben m gelegt, durch deren Gewicht das Laufwerk so weit ausgeglichen wird, dass die Differentialspule richtig zu arbeiten vermag; gleichzeitig dienen die Regulierscheiben innerhalb gewisser Grenzen zur Regulierung des Lichtbogens. Die schematische Darstellung, Fig. 21, lässt die Wirkungsweise dieser Lampe unter Berücksichtigung der Kohlengewichtsausgleichung, sowie den Stromverlauf deutlich erkennen.

Fig. 22 gibt eine Gesammtansicht der nackten Lampe.

3. Triplex-Lampe Modell *IZ* für Gleichstrom von Körting & Mathiessen.

Hauptsächlich für Dreischaltung bei 110 bis 120 Volt zu verwenden.

Auch diese Bogenlampe hat fast dieselbe Konstruktion wie Modell *I*, Fig. 20 bis 22, sie unterscheidet sich jedoch in der Funktion insoweit von dieser, als sie ohne Vorschaltwiderstand zu betreiben ist. Besonders für Dreischaltung bei 110 Volt eingerichtet, können dementsprechend auch bei 220 Volt 6 Stück hintereinander geschaltet werden. Die Inbetriebsetzung dieser Lampen hat mittelst eines Anlasswiderstandes zu geschehen, dessen Hebel bei neuen Kohlen in höchstens einer, bei angebrannten Kohlen in etwa einer Viertel-Minute nach dem Einschalten auf den Kurzschlusskontakt zu bringen ist.

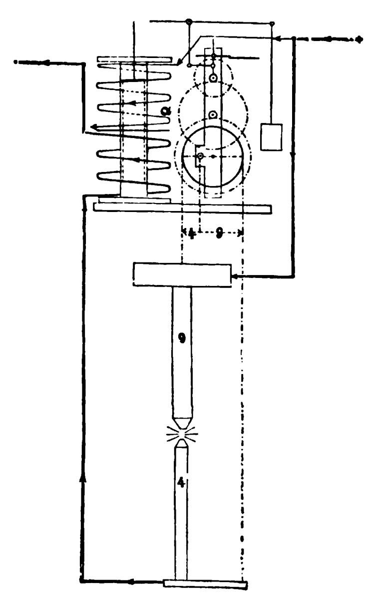


Fig. 21. Nebenschlusslampe Modell *I*.
Körting & Mathiessen.

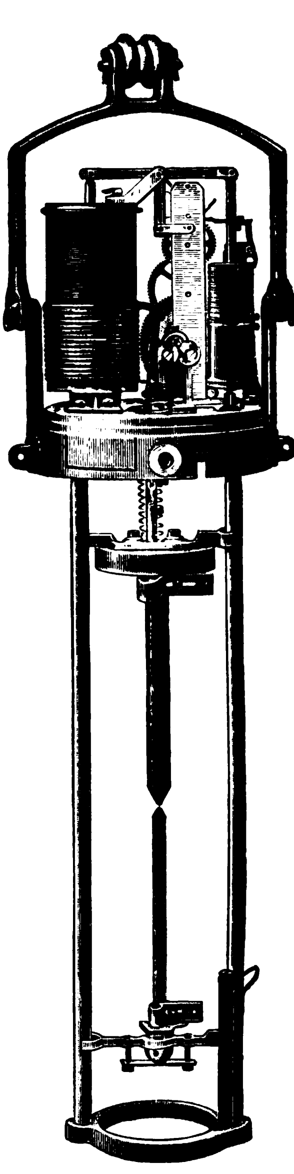


Fig. 22. Nebenschlusslampe Modell *I*.
Körting & Matthiessen.

Der bei dieser Schaltung zu erzielende Gewinn an Licht, beziehungsweise die Energieersparnis beträgt rund 30%.

Obwohl das Bestreben, die in dem Vorschaltwiderstande verloren gehende Energie derart auszunutzen, dass man bei 110 Volt eine dritte Lampe einschaltet, bereits seit mehreren Jahren vorhanden war, so gelang es erst im letzten Jahre, zu befriedigenden Resultaten zu kommen, und die Lampe Modell *I Z* war die erste, welche diese Aufgabe in der einfachsten Weise löste, wohl überhaupt zuerst löste, soweit es sich um die Einführung in die Praxis handelt, von Versuchen mit Nebenschlusslampen abgesehen. Diese Lösung bedeutet eine wesentliche Verbilligung des Bogenlichtes, da der specifische Verbrauch bei einer Stromstärke von 8 Ampère auf etwa 0·50 Watt verringert ist, während er bei einer Lampe von gleichem Stromverbrauch in Zweischaltung 0·67 Watt beträgt.

W. Wedding untersuchte diese Lampe in Dreischaltung bei 110 Volt Netzspannung und 8 Ampère Stromstärke und veröffentlichte die Resultate: [1])

„Dieses System bietet gegen das früher behandelte [2]) erstens den Vortheil größerer Einfachheit, indem die dritte Leitung fortfällt, zweitens den Vorzug besserer Energieausnutzung, indem kein Vorschaltwiderstand beim Brennen vorhanden ist, und drittens den Vortheil geringerer Ausgaben.“

Ferner heisst es:

„Da die Abweichungen der Stromstärke und Spannung beziehungsweise Energie vom Mittelwert bei den zu prüfenden Lampen gering waren, vorübergehende größere Abweichungen aber sehr schnell verliefen, so ließen sich die photometrischen Messungen verhältnismäßig gut ausführen, d. h. es brauchte bei einer Nachregulierung irgend einer der drei Lampen nicht erst gewartet zu werden, bis sich der gewünschte Mittelwert einstellte, sondern die ganze Messungsreihe konnte ohne jegliche Unterbrechung aufgenommen werden. Während es sonst oft bei Lichtmessungen an Bogenlampen vorkommt, dass man bei dem Regulieren der Lampen die Messung aussetzen muss, war dies hier nicht nöthig, wodurch bereits indirekt bewiesen ist, dass die Lampen ruhig brennen.

Gerade das Photometer ist ein sehr empfindlicher Indikator, der sich oft unangenehmer bemerkbar macht als alle Schwankungen der Strom- und Spannungszeiger.“

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift. 1899, S. 65.

[2]) Elektrotechnische Zeitschrift 1899, S. 263.

Nachstehende Tabelle enthält die Beobachtungen über den Verlauf von Stromstärke und Spannung einer Lampe, nachdem auf das Einschalten des Anlasswiderstandes bis zum Kurzschluss des Widerstandes nur etwa 5 Secunden verwendet waren.

„Das einmalige vorübergehende Sinken der Spannung auf 32·5 Volt kann auf eine mangelhafte Stelle in den Kohlen zurückgeführt werden und ist jedenfalls von keiner weiteren Bedeutung.“

T	I	Ep	T	I	Ep	T	I	Ep
Minuten			Minuten			Minuten		
1·5	11·8	—	10·3	8·4	37·4	33·5	8·55	36·2
2·0	7·9	36·0	11·0	9·0	38·4	35·0	8·0	35·3
2·2	10·0	37·0	12·0	8·5	38·8	37·4	8·0	35·4
2·5	7·7	36·4	13·4	8·9	35·0	42·0	8·0	37·0
2·6	7·6	36·8	16·0	8·3	35·0	49·0	6·8	36·0
3·0	7·7	36·8	17·0	8·7	38·2	49·3	8·8	38·0
3·5	9·4	37·5	19·0	8·5	37·0	50·0	6·8	36·0
5·0	9·3	36·0	20·5	8·3	35·8	55·8	8·0	36·5
5·8	8·0	36·0	24·0	8·4	37·5	77·0	8·0	37·0
6·5	7·8	34·0	25·0	8·3	38·0	78·5	8·45	37·0
7·0	7·7	35·8	26·0	8·2	36·0	80·0	8·0	37·0
7·6	7·5	35·0	27·5	8·28	37·0	80·4	7·2	37·5
8·4	8·0	35·2	29·0	8·8	36·4	80·9	7·7	36·2
9·0	9·0	32·5	30·0	8·0	34·2	81·0	8·4	37·4
9·5	8·4	34·2	33·0	8·5	38·5			

Die mittlere Lichtstärke der photometrierten Lampe betrug 579 Kerzen bei 272 Watt, demnach war der specifische Verbrauch gleich 0·49 Watt.

Bei einer Netzspannung von 105 Volt kann die Stromstärke bei der Dreischaltung bis zu 8 Ampère betragen, bei 110 Volt bis zu 10 Ampère, bei 115 Volt bis 15 Ampère.

Beträgt die Netzspannung aber 120 Volt, dann ist bei Stromstärken unter 10 Ampère ein kleiner Widerstand vorzuschalten.

Die Lampe ist bereits in größerem Maße in die Praxis eingeführt [1]) und hat sich sehr gut bewährt

4. Differentiallampe Modell *R* für Wechselstrom von Körting & Mathiessen, Fig. 23 bis 25.

[1]) Elektrotechnischer Anzeiger 1899. Nr. 21.

Diese Bogenlampe eignet sich infolge ihrer Eigenschaft als Differentiallampe für jede Schaltungsart, und funktioniert selbst ohne jeden Vorschaltwiderstand.

Das Regelwerk, Fig. 23 und 24, besteht aus einer Hauptstromspule a und einer Nebenschlusspule b, in welche zwei Kerne a_1 und b_1 eintauchen. Diese Kerne hängen an einem Balancier f, der mittels der Zugstange d und des Armes g das um die Achse e schwingende Laufwerk c in Bewegung setzt. Die beiden beweglichen Kohlenhalter hängen an einer über die Rolle n laufenden Kette.

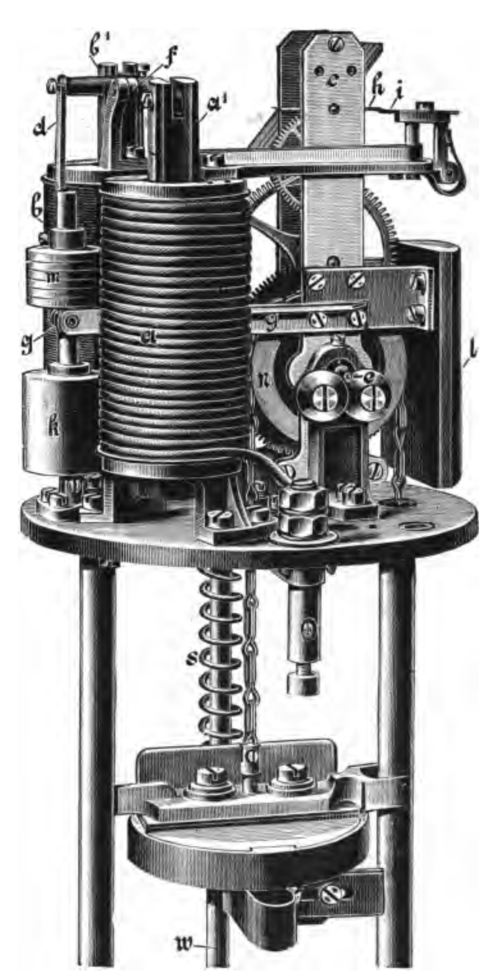


Fig. 23. Differentiallampe für Wechselstrom. Körting & Mathiessen.

Bei Stromlosigkeit der Lampe laufen die Kohlen zusammen und bilden Kontakt. Beim Einschalten geht der Hauptstrom durch die Spule a, der Kern a_1 wird kräftig eingezogen und dadurch das Laufwerk nach rechts bewegt, wobei sich die Kohlen voneinander entfernen und der Bogen gebildet wird.

Beim Wachsen der Lichtbogenspannung gewinnt die Spule b mehr und mehr an Kraft, während die der Spule a nachlässt; es schwingt infolgedessen das Laufwerk soweit nach links, bis das Flügelrad h von der Anschlagzunge i frei geworden, und damit die Arretierung des Laufwerkes aufgehoben ist. Durch das Übergewicht des oberen Kohlenhalters senkt sich dieser, bis im nächsten Augenblick das Laufwerk wieder arretiert wird.

Das Gegengewicht l dient zur Ausgleichung der einseitigen Belastung des Laufwerkes durch den oberen Kohlenhalter.

Die an dem Arm *g* angebrachte Luftbremse *k* verlangsamt die Bewegungen der Solenoidkerne. Auf diese Luftbremse sind Belastungsscheiben *m* gelegt, durch deren Gewicht die Länge des Lichtbogens reguliert wird.

Alle in Frage kommenden Metalltheile sind gegen das Auftreten von Wirbelströmen geschützt; die Solenoidkerne sind aus dünnen Blechstreifen hergestellt.

Der kleine an den Stangen der Lampe befestigte emaillierte Reflektor dient zur Reflexion des nach oben strahlenden Lichtes.

Fig. 25 zeigt eine Lampe in der Gesammtansicht.

Es eignet sich diese Lampe gut für einfache Parallel-, wie auch für Hintereinanderschaltung und erfordern:

4 Lampen 120—130 Volt Netzspannung,
3 „ 90—100 „ „ ,
2 „ 60— 70 „ „ .

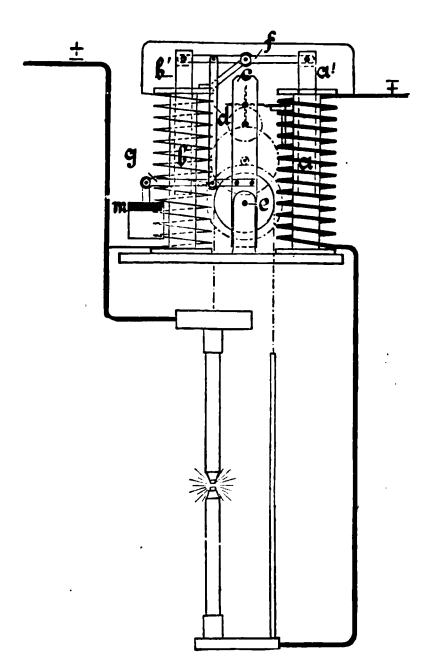


Fig. 24. Differentiallampe für Wechselstrom. Körting & Mathiessen.



Fig. 25. Differentiallampe für Wechselstrom. Körting & Mathiessen.

Einfache Parallelschaltung erfordert 35 Volt Netzspannung.

Wird jede Lampe von einem besonderen Transformator gespeist, dann reicht eine Spannung von 30 Volt aus.

5. Ersatzkohlenlampe Modell *CI* für Gleichstrom von Körting & Mathiessen, Fig. 26.

Differentiallampe mit zwei nacheinander abbrennenden Kohlenpaaren.

Die Konstruktion dieser in Fig. 26 in der Gesammtansicht dargestellten Lampe ist fast dieselbe wie die des Modells *C* mit dem einfachen Unterschiede, dass bei Modell *CI* an Stelle der Nebenschlussmagnete solche mit Differentialwickelung treten, und dass dementsprechend der Stromverlauf in der Lampe ein etwas anderer ist. Der Vortheil, den diese Lampe, sowie die vorstehend beschriebene bieten, kann in zweifacher Hinsicht zur Geltung kommen:

a) Man lässt beide Kohlenpaare nacheinander ganz abbrennen und erneuert beide gleichzeitig. Daraus entspringt der Vortheil einer außerordentlich langen Brenndauer und demzufolge Ersparnis an Bedienungsarbeit.

b) Man lässt immer nur ein Paar ganz abbrennen und erneuert jedes Paar einzeln. Daraus resultieren die Vortheile, dass man

1. an Kohle spart, da die Kohlenstifte stets bis auf den letzten Rest abbrennen — man braucht deshalb auch nicht mit noch brauchbaren Stumpfen zu hantieren — und

2. an Bedienungsarbeit spart, da die einfache angebliche Brenndauer thatsächlich erreicht wird, während dieselbe bei Lampen mit einem Paar Kohlen in vielen Fällen nicht erreichbar ist. Hat z. B. die Lampe eine Brenndauer von angeblich 10 Stunden und soll sie täglich 4 Stunden ununterbrochen brennen, so müssen die Kohlen nach 8stündiger Brenndauer bereits erneuert werden. Es bleiben demnach noch Stumpfe von zwei-



Fig. 26. Ersatzkohlenlampe. Körting & Mathiessen.

stündiger Brenndauer über, und beträgt die effektive Brenndauer der Lampe in diesem Falle nur 8 Stunden. Die zweistündigen Stumpfe zu anderer Zeit zu verbrauchen kostet viel Bedienungsarbeit.

6. Ersatzkohlenlampe Modell *CR* für Wechselstrom von Körting & Mathiessen.

Differentiallampe mit zwei nacheinander abbrennenden Kohlenpaaren.

Da Wechselstromlampen im allgemeinen eine wesentlich geringere Brenndauer als Gleichstromlampen haben, und die Dauerbogenlampen bei Wechselstrom einen geringeren Lichteffekt geben, ohne den Vorzug der langen Brenndauer in dem Maße wie die Gleichstrom-Dauerbogenlampen zu besitzen, so ist eine Ersatzkohlenlampe für Wechselstrom von fast noch größerer Bedeutung als für Gleichstrom. Was über Modell *CI* in Bezug auf Konstruktion und Verwendungsweise gesagt wurde, das gilt auch hier, und zwar in letzterer Hinsicht in erhöhtem Maße. Die Brenndauer einer *CR*-Lampe, Größe *f* beträgt 25—30 Stunden.

Das Regelwerk dieser Lampe ist nicht so frei von Geräusch, wie das der *R*- und *S*-Lampen, es hat das aber wenig Bedeutung, da die Ersatzkohlenlampen doch fast nur zur Beleuchtung von Fabriksräumen, Straßen und Plätzen benutzt werden.

7. Die Doppelbogenlampe Modell *U* für Gleichstrom von Körting & Mathiessen mit zwei gleichzeitig brennenden Bogen.

Diese Lampe hat zwei getrennte Regelwerke und zwei Lichtbogen, ihre Klemmenspannung beträgt deshalb das Doppelte der normalen, also rund 80 Volt. Sie hat mit der Dauerbogenlampe den gemeinsamen Vortheil, dass sie bei 110 Volt ebenfalls einfach parallel und bei 120 Volt zu zweien geschaltet werden kann. Der Lampe mit einem Lichtbogen von gleichem Energieverbrauch gegenüber steht Modell *U* natürlich des geringeren Wirkungsgrades, der mit der Stromstärke zunimmt, sowie des größeren Kohlenverbrauches halber nach, doch hat sie vor der Dauerbogenlampe wieder den Vortheil des höheren Wirkungsgrades, im Verhältnis von 1.45:1, und des ruhigeren Lichtes, dem gegenüber der höhere Preis nicht sehr ins Gewicht fällt, sofern die lange Brenndauer nicht gerade erforderlich ist. Es ist zu beachten, dass in vielen Fällen eine mehrfache Reinigung der beiden Glocken der Dauerbogenlampen während der Brenndauer eines Kohlenpaares stattfinden muss, wodurch der Vortheil der langen Brenndauer beeinträchtigt wird. Die Konstruktion von Modell *U* ist, abgesehen von der hier fortfallenden Umschaltvorrichtung genau dieselbe, wie die des Modells *C*.

Die Anordnung der Kohlen erfolgt ähnlich wie bei der Ersatzkohlenlampe Fig. 26.

8. **Differential-Bogenlampe für Gleichstrom von der Elektricitäts-Gesellschaft Hansen, Fig. 27.**

Im In- und Auslande geschützt.

Die Differential-Bogenlampe, Fig. 27, wird charakterisiert durch die Anordnung eines Nebenschluss-Elektromagneten *a* und Hauptstrom-Elektromagneten *b* am oberenTeller *c* des Lampenkopfes dergestalt, dass ihre Polstücke *g* und *h* gegenüberstehen, während der für beide Polpaare der genannten Elektromagneten gemeinsame Anker *f* drehbar an dem gegenüber liegenden unteren Teller des Lampenkopfes gelagert ist. Die Ankerstange *d* ist an dem schwingbar gelagerten Gehäuse *e* des Laufwerkes befestigt. Die Schwingungsachse fällt mit dem Punkte zusammen, an welchem der den oberen Kettenhalter tragende Kettenschenkel abläuft. Es bildet somit diese Schwingungsachse des Gehäuses *e* gleichzeitig die Schwingungsachse des Ankers *f* und der Ankerhebel wird zum Theil vom Gehäuse selbst gebildet; das eigentliche Ankerstück *f* ist aus der genannten Schwingungsachse gekrümmt und bewegt sich in entsprechend gekrümmten Schlitzen der vortretenden Polstücke *g* und *h*; eine regulierbare Feder *i* hält den Anker *f* und damit gleichzeitig das Gehäuse *e* unter normalen Verhältnissen in derjenigen Stellung, in der das Laufwerk gesperrt ist.

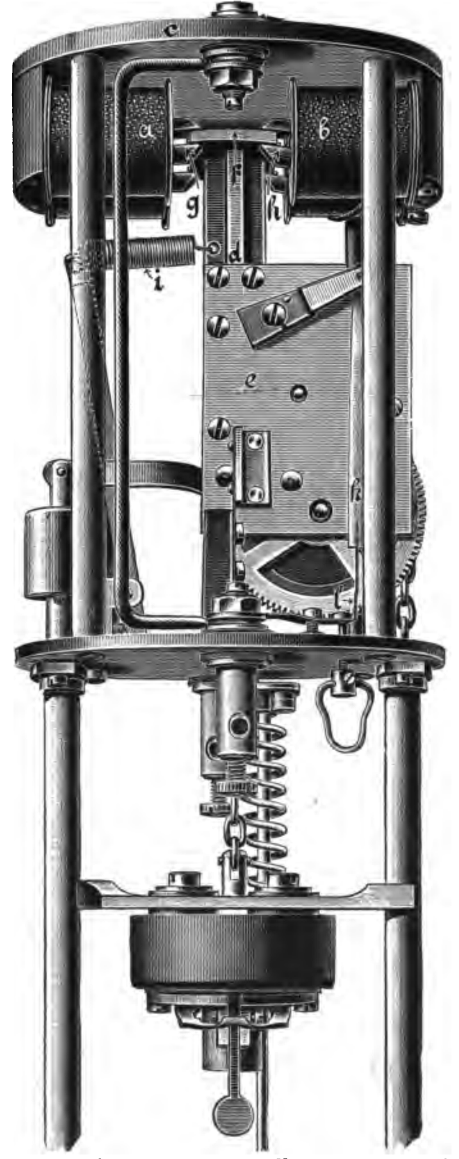


Fig. 27. Differentiallampe. Elektricitätsgesellschaft Hansen.

Funktion der Lampe: Beim Einschalten der Lampe zieht der Nebenschluss-Elektromotor *a* den Anker *f* an, veranlasst dadurch eine

Schwingung des Laufwerkes *e*, das Pendel *k* wird von seiner Arretierung *l* frei und das Laufwerk setzt sich infolge Übergewichtes des oberen Kohlenhalters in Bewegung, bis sich die Kohlenstifte berühren. Dadurch verliert der Nebenschluss-Elektromagnet *a* seine Wirkung, der Anker mit dem Laufwerk schwingt zurück, dadurch sinkt die untere Kohle und es bildet sich der Lichtbogen. Sobald die elektromagnetische Kraft der Nebenschlussspule *a* infolge Abbrandes der Kohlen das Übergewicht erlangt und der Anker *f* entsprechend angezogen wird, hat der damit eintretende Ausschlag des Gehäuses *e* ein Abheben der Klinke *k* vom festen Anschlag *l* und damit eine Auslösung der Hemmung des Laufwerkes zur Folge und es tritt sofort Regulierung des Lichtbogens ein. Die Verlegung der Elektromagnete an den oberen Lampenteller und die hiedurch ermöglichte Ausnutzung eines großen Theiles der Höhe des Lampenkopfes für den Schwingungsarm des Ankers hat den Erfolg einer äußerst feinen und genauen Regelung des Lichtbogens. Es gibt sich dies deutlich dadurch kund, dass die vorliegende Lampe ohne weiteres geeignet ist, bei einer Betriebsspannung von 110 Volt zu Dreien in einer Reihe zu brennen.

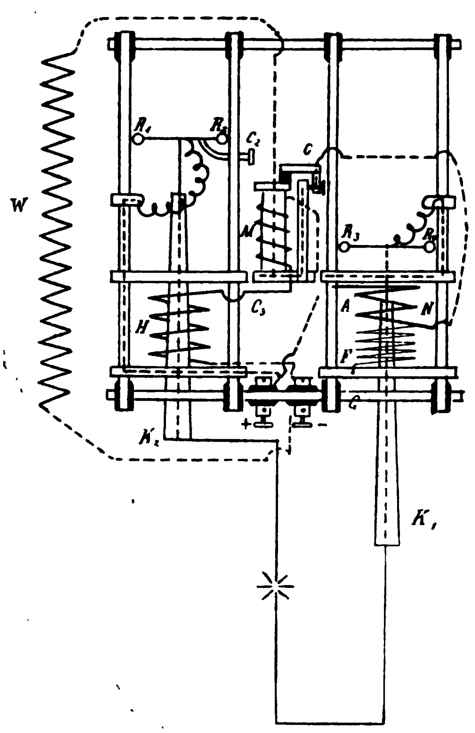


Fig. 28. Differentiallampe.
Piette-Křižik.

9. Die Differentiallampe Piette-Křižik für Hintereinanderschaltung. Die beiden Spulen dieser, in Fig. 28 dargestellten Lampe sind nebeneinander angeordnet und die, in dieselben hineinreichenden Eisenkerne K_1 und K_2 durch eine Schnur, welche über eine, in der Figur nicht ersichtliche Rolle führt, beweglich verbunden. Um eine gleichmäßige Anziehung der Eisenkerne zu ermöglichen, werden dieselben konisch geformt und verstellbar eingerichtet.

Die vier Stromwege in dieser Lampe sind in der Figur durch stärker (Hauptstrom) und schwächer gezeichnete, gestrichelte Linien (Nebenstrom) dargestellt.

1. Stromweg. Von der positiven Klemme durch die dicken Windungen der Nebenschlussspule *N* zu dem Kontakte *C*, durch den Widerstand *W* zum negativen Pole.

2. Stromweg. Vom positiven Pole durch die dicken Windungen der Nebenschlussspule *N*, durch die dünnen Windungen *F* der letzteren Spule (die dünnen Windungen sind an die dicken angeschlossen), in das Gestell der Lampe, bei *G* zum unteren Kohlenhalter (zur Führungsstange desselben).

3. Stromweg. Von der positiven Klemme durch die Kohlen, die Windungen des Elektromagnetes (Kontaktmagnetes) *M*, die Hauptspule *H* zur negativen Klemme.

4. Stromweg. Von der positiven Klemme durch die Kontakte C_2 und C_3, das Gestell des Kontaktmagnetes *M*, die Neusilberspirale *W* zur negativen Klemme.

Die Thätigkeit der Lampe ist nachfolgend übersichtlich wiedergegeben:

Vor dem Aufsitzen der Kohlen fließt der Strom auf dem Wege 1, die Spule *N* zieht den Kern K_1 an und bringt die Kohlenspitzen zur Berührung, wodurch der dritte Stromweg geschlossen erscheint. Der Kontaktmagnet *C* zieht seinen Anker an und unterbricht den 1. Stromweg. Der Lichtbogen erscheint somit gebildet und wird, da jetzt auch der Stromweg 2, eingeschaltet ist, durch die gegenseitige Wirkung der Spulen *H* und *N* gleich lang erhalten. Mit dem Abbrennen der Kohlen bis zur zulässigen Grenze berühren sich die Kontakte C_2 und C_3 und der Strom fließt auf dem unter 4. bezeichnetem Wege.

10. Weitere Bogenlampen.

In Deutschland und Österreich-Ungarn sind weiters häufig in Verwendung die Lampen von der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft, Elektricitäts-Aktiengesellschaft vorm. Schuckert & Co., Union-Elektricitätsgesellschaft, Ganz & Co., K. Weinert in Berlin, „Anker"-Elektricitätsgesellschaft, Specialfabrik für Bogenlampen Leipzig-Lindenau (Specialität: Dreierschaltung bei 120 Volt, Sechserschaltung bei 220 Volt ohne jeden Vorschaltwiderstand und automatischen Anlasser), Schwartz in Frankfurt a./M., R. J. Gülcher in Bielitz-Biala, Gramme, Scharnweber, Weston, Möhring, Naglo, Schiebeck & Plentz, Schwartzkopff in Berlin, Helios, Hempel in Dresden, Brush, Pieper, Schwerdt, O. L. Kummer & Co. in Dresden und Anderen.

15. Konstruktion der Bogenlampen. Durch die Stromänderungen in den Regulierspulen werden die Bewegungen der Armatur (Kerne

oder Anker) auf die Kohle übertragen. Mit Bezug auf diese Übertragung unterscheidet Silv. P. Thompson zwei Hauptgruppen von Bogenlampen.

1. Indirekt wirkende Lampen. Die Wirkungen des Regulierstromes werden mittelbar (mit Hilfe eines Mechanismus) auf die Kohlen übertragen.

2. Direkt wirkende Lampen. Die Regulierung erfolgt durch ein elektromagnetisches System ohne Zuhilfenahme eines Mechanismus.

Die wichtigsten Konstruktionen dieser Gruppen sind:

1. Die Vorrichtung, welche die Kohlenstäbe bei Stromlosigkeit in die richtige Stellung bringt.

2. Die Vorrichtung zum Nachschube der Kohlen nach Maßgabe des Abbrandes.

3. Kohlenhalter zur sicheren Fassung der Kohlen bei bequemer Erneuerung derselben.

Die wichtigsten Konstruktionen der Hilfstheile sind:

1. Selbstthätiger Kurzschließer bei Reihenschaltung.

2. Vorrichtung zur Einstellung des Lichtpunktes; dieselbe erfordert eine Verschiebung beider Kohlenstäbe.

3. Vorrichtung zur selbstthätigen Einschaltung von Reservekohlen bei Lampen von langer Brenndauer.

4. Schirme, Kugeln u. s. w. zum mechanischen Schutze der Lampen und des Bogens, zur Veränderung der Lichtintensivitätskurve u. s. w.

Besondere Sorgfalt verlangen die richtigen elektrischen und mechanischen Abmessungen der einzelnen Theile. Sollen Strom- und Spannungsschwankungen eine Differentiallampe empfindlich beeinflussen, so müssen die Eisenkerne der Haupt- und Nebenschlusspulen stark sein, dann wird die Empfindlichkeit der Regulierung eine sehr große. Bei starker Sättigung des Eisens reguliert die Lampe weniger empfindlich als bei geringer Sättigung.

Soll eine Lampe gegen Stromschwankungen wenig, gegen Spannungsschwankungen stark empfindlich sein, dann muss der Eisenkern der Hauptstromspule stark, derjenige der Nebenschlusspule schwächer gesättigt sein.

Bei Wechselstrom müssen die Metallbüchsen, auf welchen die Spulen sitzen, zur Vermeidung von Wirbelströmen geschlitzt sein, weil sonst eine zu starke Erwärmung derselben eintritt. Von Einfluss ist bei Wechselstrom die Polwechselzahl und die Kurvenform. Die Wechselstromlampen arbeiten nur dann vollständig zufriedenstellend, wenn sie bei derselben Kurvenform einreguliert und eingeschaltet werden.

16. Bogenlampen mit beschränktem Luftzutritt (Dauerbrandlampen). Die Ursachen des raschen Abbrandes der Kohlen sind:

1. Kohlenverdampfung infolge der Bildung des Flammenbogens.
2. Abbrand infolge der längs der Kohlenstifte aufsteigenden Luft.

Durch Einschließen der Kohlenstifte in einem mit einem Deckel verschlossenen Glasgefäß sinkt nach L. B. Marks[1]) der Abbrand der Kohlen mit der Verkleinerung der Öffnung. Bei Gleichstrom höhlt sich die obere Kohle nicht aus. Der Lichtbogen wandert hin und her. Dieser Übelstand kann auf Kosten der Leuchtkraft durch eine zweite, größere Glaskugel verschleiert werden. Für Wechselstrom funktionieren diese Lampen bei den gebräuchlichen Perioden (42—50 in der Sekunde) noch nicht vollkommen zufriedenstellend. In Amerika verwendet man höhere Periodenzahlen; dort sind Gleich- und Wechselstrom-Dauerbrandlampen häufig in Verwendung.

Hieher gehören die Lampen von Marks (Pionnierlampe), Janduslampe der Compagnie des Lampes a Arc, Paris, Körting & Mathiessen, E. Mytteis & Co., Siemens & Halske A.-G. Union Elektricitäts-Gesellschaft, Elektricitäts-Aktien-Gesellschaft vorm. Schuckert & Co., Allgemeine Elektricitätsgesellschaft, K. Weinert, Berlin (Sonja-Dauerbrandlampe für Gleich- und Wechselstrom), Regina-Dauer-Bogenlampe-System J. Rosemeyer[2]) Blondel hat gefunden[3]), dass bei der Pionnierlampe verglichen mit zwei Bogenlampen auf 100 Volt der geschlossene Bogen zwei Drittel der Leistung des offenen Bogens ergibt. Ein besonderer Vortheil dieser Lampen ist die bequeme Bedienung. Die geschlossene Bogenlampe bildet ein Mittelding zwischen der offenen Bogenlampe und der Glühlampe.

Zur Verminderung des Abbrandes wegen der längs der Kohlenstifte aufsteigenden Luft hat Jehl bei seinem Sparbrenner[4]) auf die obere Kohle eine mit Speckstein gefütterte Büchse aufgesetzt. Diese Büchsen mussten jedoch so oft ausgewechselt werden, dass keine Ersparnis zu erzielen war.

1. Janduslampe der Continentalen Jandus-Elektricitäts-Aktiengesellschaft in Brüssel, Fig. 29 bis 33. Für die Fig. 30 und 31 gilt der Maßstab 1:5·3, für die Fig. 32 und 33 der Maßstab 1:2.

---

[1]) W. Wedding, Elektrotechnische Zeitschrift, 1897. S. 793.

[2]) Elektrotechnischer Neuigkeitsanzeiger und maschinentechnische Rundschau. 1900, S. 122.

[3]) L'Éclair. électrique, 1897, Nr. 12.

[4]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1894, S. 628.

Diese Lampe ist etwa 90 *cm* lang. Den Obertheil der Lampe umgibt ein verzierter Mantel, an welchem eine Glocke aus Alabasterglas fast luftdicht festgeschraubt erscheint. Die obere Öffnung der Glocke besitzt deshalb eine mit Asbestringen gedichtete Metallfassung mit einem Muttergewinde. Durch das letztere erfolgt die Verschraubung der Metallfassung mit dem oberen Theile solange, bis sich ihre obere, eben geschliffene Fläche an eine gleichfalls abgeschliffene Fläche des Obertheiles anpresst. Die untere Öffnung der Glasglocke ist durch einen gewellten, federnden Blechring V, Fig. 31, möglichst dicht abgeschlossen. Ein Porzellanknopf ragt nach unten (unterster Theil der Figuren gehalten von der unteren Hand, 30 und 31) aus dem Verschlusse heraus.



Fig. 29.
Montage der Janduslampe.

Durch Drehen des Porzellanknopfes wird ein Bayonettverschluss geöffnet, so dass man, Fig. 29, das Verschlussblech sammt beiden Kohlen und eine innere, cylindrische Alabasterglasglocke (4) herausnehmen kann. Innerhalb der letzteren Glocke bildet sich der Lichtbogen. Die innere Glasglocke zerstreut ebenso wie die äußere das Licht. Die beiden Kohlen sind homogen und gleich stark. Bei der 3 Ampèrelampe beträgt der Durchmesser 10 *mm*, bei der 4 Ampèrelampe 13 *mm*. Die Endflächen der Kohlen sind nahezu eben. Der Lichtbogen steht nicht ruhig, sondern befindet sich immer zwischen solchen Punkten der Kohlen zwischen welchen der Widerstand am kleinsten ist. Sobald demnach eine Stelle abbrennt, steigt dort der Widerstand und der Lichtbogen wandert weiter. Die Lichtvertheilung ändert sich daher fortwährend. Eine Milderung dieses Übelstandes wird durch die Verwendung der beiden Glocken erreicht. Die innere Glocke *M*, Fig. 31, vermehrt auch den Abschluss der Luft vom Lichtbogen, weil sie oben und unten fast gänzlich geschlossen ist. Dadurch wird der Lampe weniger Sauerstoff zugeführt und die Brenndauer von 100 und mehr Stunden erreicht.

Die wichtigsten Bestandtheile des oberen Theiles der Lampe sind: Eine Drahtspule (Drahtdurchmesser bei 4 Ampère = 1·5 *mm*) am Orte *B*, Fig. 30, zur Erzielung einer kräftigen magnetischen Wirkung von einem Eisenmantel umgeben (ein ausgehöhltes Ansatzstück erstreckt

sich von oben aus bis in die Mitte der Spule), ein Gusseisenkern *C*, ein Dämpfungscylinder unterhalb *C*, ein Vorschaltwiderstand *R* und Vorrichtungen zur Geradführung und Stromzuführung zur oberen Kohle. Diese Theile sind sämmtlich hohl. In dem hohlen Eisenkerne *C* steckt die obere Kohle (etwa 30 *cm* lang) lose, das obere Ende derselben befindet sich in einem etwa 15 *cm* langen Messingrohr *R*, Fig. 29, (2), Fig. 32. Ohne Strom sinkt die obere Kohle auf die untere bis zur Berührung, wobei sie an zwei, voneinander etwa 10 *cm* entfernten Stellen durch Messingrollen, Fig. 30, hindurchgleitet. Die unteren 6 Führungsrollen (4), Fig. 33, sind glatt und dienen zur Geradführung der oberen Kohle und zur Stromzuführung. Die oberen 3 Ringe (7), Fig. 32, sind rauh und bezwecken im stromdurchflossenen Zustande der Lampe die Klemmung der oberen Kohle und die Stromzuführung zu derselben.

Nur nach dem Abbrande wird die Kohle einen Augenblick frei gegeben und gleitet ein Stückchen nach abwärts. Deshalb sind die letzteren am unteren Ende des Eisenkernes (4_1) (4_2), Fig. 32, befestigt, welcher mit seinem oberen Ende in die Hauptstrom-

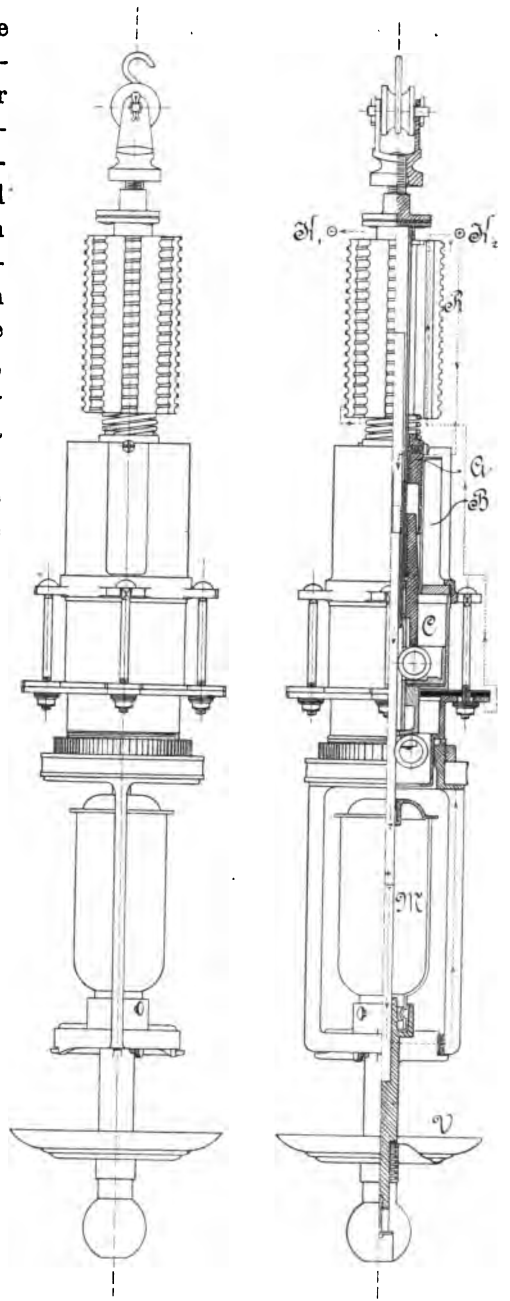


Fig. 30. Jandus-Lampe. Fig. 31.
Ansicht. Ansicht und Schnitt.

spule hineinragt. Die 3 Ringe, (7), Fig. 32, haben eine große innere Öffnung, sind durch einen Eisenring (8_1) (8_2) gezogen und können sich deshalb einige *mm* auf-, ab-, vor- und rückwärts bewegen. Diese Ringe gleiten stromlos soweit nach der Mitte der Lampe, dass sich ihre Ränder berühren. Über der oberen Kohle (1) sammt Messingrohr (2) befindet sich ein etwa 5·5 *cm* langes Messingrohr. Schiebt man dasselbe soweit nach oben, bis es die Ringe von der Berührung mit der Kohle abhalten kann, dann ist die Kohle widerstandslos einführbar. Wird jedoch der Eisenkern (4_1) (4_2) gehoben (fließt Strom durch die Lampe) so berühren die 3 Ringe (7) die Kohle und halten sie fest.

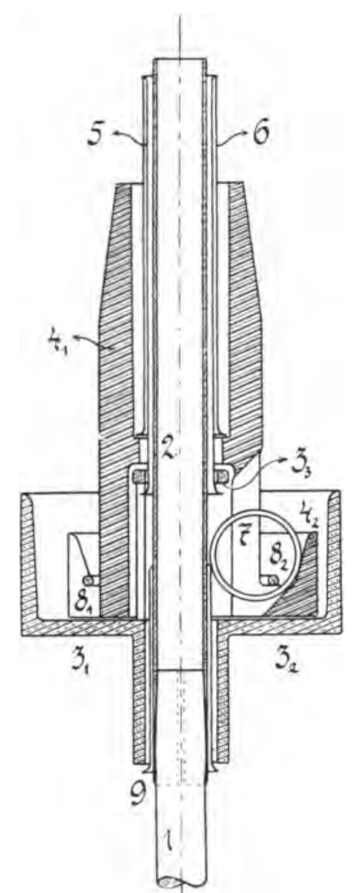


Fig. 32. Regulirmechanismus der Janduslampe.

Der Vorschaltwiderstand *R*, Fig. 31, besteht aus Neusilberspiralen, welche auf einen 13 *cm* hohen Porzellancylinder aufgewickelt sind. Behufs guter Ventilation des Vorschaltwiderstandes ist der äußere Blechmantel am obersten Theile mit Löchern versehen. Die Lampe verbraucht sammt Vorschaltwiderstand 110 Volt.

Stromverlauf, Fig. 31. Der Strom fließt von der +Klemme K_2 durch die Drahtspule, der Ort der Drahtspule ist mit *B* bezeichnet, zu dem Eisenmantel *A* derselben, zu den Messingrollen zur oberen Kohle, durch die untere Kohle nach der unteren Hälfte des Gestelles. Die beiden Hälften des Gestelles sind durch Glimmer zwischenlagen isoliert. Von der unteren Hälfte des Gestelles fließt der Strom durch den Vorschaltwiderstand *R* zur —Klemme K_1.

Reguliermechanismus, Fig. 32, und 33. Die Kohle (1) befindet sich in dem geriffelten Messingrohr (2). Der Messingcylinder (3_1) (3_2) (3_3) trägt den Gusseisenkern (4_1) (4_2), die Messingröhren (5) und (6), die drei Ringe (7), von welchen in der Figur nur einer ersichtlich sein kann und den Eisenring (8_1) (8_2). Das Messingrohr (9) umgibt das geriffelte Rohr (2). Das Rohr (2) ist geriffelt, damit es von den 3 geränderten Ringen (7) festgehalten werden kann. Der Gusseisenkern (4_1) (4_2)

st, um genügend weit in die Spule hineingezogen werden zu können, konisch geformt. Das Rohr (6) trägt das Rohr (5); beide Rohre dienen zur Führung der Kohle. Der Ring (8_1) (8_2) durchläuft die 3 Ringe (7). Das Rohr (9) steht auf dem Boden des unteren, engeren Tubus des

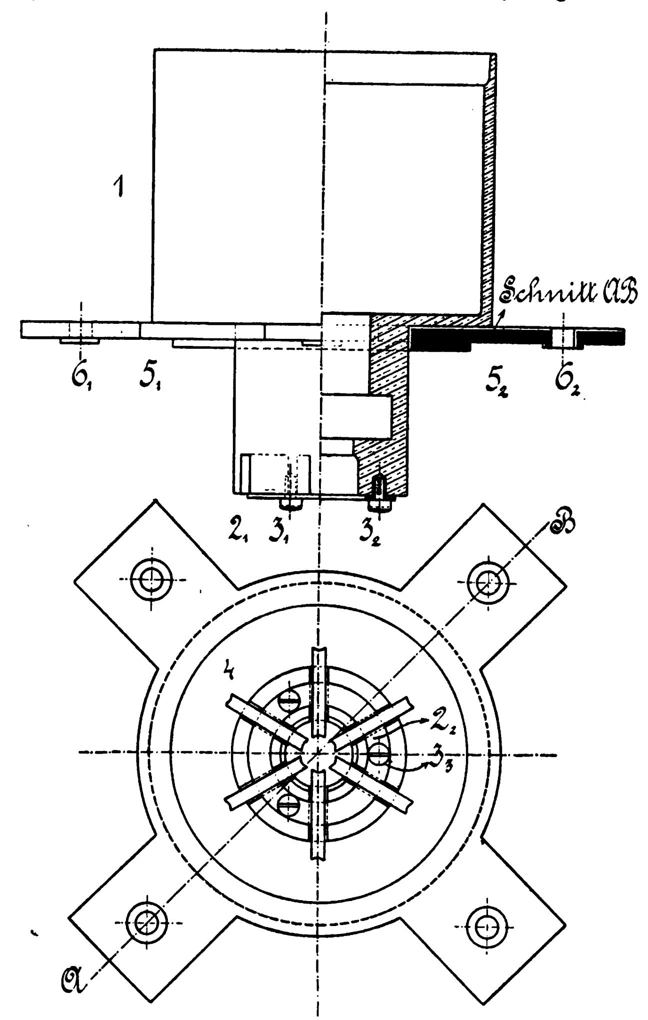


Fig. 33. Reguliermechanismus der Janduslampe.

Dämpfungscylinders (1), Fig. 33 fest. Letztere Figur zeigt den Dämpfungscylinder links in Ansicht, rechts im Schnitt, unten in der Ansicht von unten, (2_1) (2_2) stellt einen Messingring dar, an welchem 6 Rollen (4) hängen. Mit (3) sind drei Schrauben bezeichnet, welche zur Befestigung des Ringes (2) dienen. (3_1) zeigt diese Schrauben in der Ansicht,

(3_2) im Schnitt und (3_3) in der unteren Ansicht. Die Isolierplatte (5_1) (5_2) besitzt die vier Öffnungen (6_1) (6_2) zur Durchführung der Gestelleverbindungsbolzen.

Zur ausführlicheren Erklärung des Reguliermechanismus Fig. 32, sei noch Folgendes erwähnt: Denken wir uns aus dieser Figur das Rohr (9) herausgenommen. Schieben wir das Rohr (2) sammt Kohle (1) von unten in den Eisenkern, so werden die 3 Rollen (7) gehoben und man kann das Rohr sammt Kohle ungehindert durch den Mechanismus hindurch ziehen. Will man jedoch das Rohr (2) sammt der Kohle (1) von oben in den Eisenkern (4) einführen, so laufen die Ringe (7) zusammen und klemmen das geriffelte Rohr (2). Schiebt man jetzt das Rohr (9) in das Innere des Cylinders (3), so werden die 3 Ringe (7) von dem Rohr (2) entfernt und das letztere fällt sammt der Kohle (1) herunter. Da das Rohr (9) im Gebrauche der Lampe feststeht, so können das Rohr (2) sammt der oberen Kohle (1) nur dann geklemmt werden, wenn sich der Eisenkern hebt, d. h. wenn Strom die Lampe durchfließt.

Dämpfung, Fig. 32 und 33 (Maßstab 1 : 2). Die Dämpfung der Bewegungen der Lampe wird durch die beiden Cylinder (3), Fig. 32, und (1), Fig. 33, welche ineinander eingeschliffen sind, bewirkt. Der Cylinder (3), Fig. 32, ist ein Messingkolben von 85 *mm* Durchmesser. Derselbe erscheint in die Bronzebüchse (1), Fig. 33, eingeschliffen.

Thätigkeit der Lampe. Ohne Strom sitzen die beiden Kohlen aufeinander. Fließt Strom durch die über dem konisch verlaufenden Eisenkern *C*, Fig. 31 befindlichen Spule *B*, so wird der Eisenkern *C* in die Spule *B* hineingezogen. Eine Detailzeichnung der Reguliervorrichtung zeigt Fig. 32. In dieser Figur ist einer der 3 Eisenringe (7) ersichtlich, welche der Eisenkern, (4_1) (4_2) emporhebt. Dabei wird die obere Kohle mitgenommen. Fällt die Stromstärke bei einem größeren Lichtbogen, so sinkt der Eisenkern sammt den drei Messingrollen allmählich herab. Das feststehende Messingrohr (9) drückt nun die 3 Ringe (7) auseinander, die Kohle wird frei und sinkt ein Stückchen herunter. Jetzt wächst der Strom an, die Spule zieht den Eisenkern (4_1) (4_2) hinauf und das Rohr (9) gibt die Kohle frei, so dass dieselbe von den drei Ringen wieder gehalten wird.

Gebrauchsanweisung, Fig. 29. Die Lampe wird an der Porzellanrolle aufgehängt. Der Kohlenrahmen ist senkrecht und genau in die Mitte der großen Glocke mittelst des Schraubenringes einzuschrauben. Dabei ist zu beachten, dass die Asbestringe die obere Glockenöffnung von innen und außen luftdicht abschließen. Die große Glocke wird zusammen mit dem senkrecht eingesetzten Kohlenhalterrahmen an den Lampenträger festgeschraubt.

Die positive Kohle, 265 *mm* lang, führt man in den gespaltenen Theil der Messingröhre R_1 soweit ein, bis sie an dem inneren Ansatz Widerstand findet. Die negative Kohle, 155 *mm* lang, wird in den Kohlenhalter (gleichzeitig unter Glockenverschluss) eingesetzt (2) und mit Schraube (3) festgehalten. Sodann setze man die kleinere innere Glocke (4) auf und befestige sie durch leises Anziehen der Schraube (5). Die kleine Glocke wird alsdann verschlossen durch den Deckel (6). Gleichzeitige Einführung beider Kohlen in die große Glocke — positive oben — negative unten. Man vergesse nicht auf den Deckelverschluss. Befestigung des Kohlenhalters im Kohlenhalterrahmen durch Drehung und Bajonnettverschluss.

Die große Glocke bedarf der Reinigung nur einmal in 3 Monaten, die kleine Glocke bei jeder Kohlenerneuerung. Beide Glocken sind trocken zu reinigen. Man verwende nur neue, trockene, für die Janduslampe bestimmte Kohlen, die an trockenem Orte zu lagern sind. Zwölf Stück Kohlen kosten rund 2 Mark.



Fig. 34. Dauerbogenlampe.

2. Dauerbogenlampe Modell *IV* für Gleichstrom von Körting und Mathiessen, Fig. 34.

Für 100—200stündige Brenndauer mit einem Kohlenpaare.

Der Konstruktion des Regelwerkes nach stimmt diese Lampe mit der vorstehend beschriebenen, der äußeren Ansicht nach in Fig. 22 dargestellten Differentiallampe, Modell *I*, im wesentlichen überein, doch ist bei diesem neuen Modell der Lichtbogen von der Luft abgeschlossen, da er sich in einer besonderen kleinen Glocke *a*, Fig. 34, befindet, die an ihrem unteren Ende dicht verschlossen und an ihrem oberen Ende durch den Deckel *d* soweit abgedichtet ist, dass kein Luftwechsel stattfinden kann.

Die Folge davon ist, dass der Lichtbogen der eingeschlossenen Luftmenge in kurzer Zeit den Sauerstoff entzieht und ihn in andere Verbindungen überführt, sodass ein indifferentes Gasgemisch entsteht,

4*

in welchem die Verbrennung der Kohle aufhört oder doch eine so große Beschränkung erfährt, dass die Brenndauer eines Kohlenpaares auf 100—200 Stunden gesteigert wird.

In manchen Fällen ist diese lange Brenndauer von so großem Werte, dass man gern den geringeren Wirkungsgrad des abgeschlossenen Lichtbogens mit in den Kauf nimmt. Da der Spannungsabfall im Lichtbogen rund 80 Volt beträgt, so kann man bei 100—110 Volt Netzspannung nur eine, bei 200—220 Volt nur zwei Lampen in einen Stromkreis schalten.

Diese Schaltungsart bietet in allen Fällen, wo dieselbe aus irgend welchen praktischen Gründen erwünscht ist, eine weitere Annehmlichkeit. Das von dieser Lampe ausgehende Licht ist infolge des Durchganges durch zwei lichtstreuende Glocken weit diffuser als bei anderen Lampen mit gewöhnlicher Glasglocke, doch kann dieser Vorzug in Anbetracht der durch das Wandern des Lichtbogens verursachten ungleichmäßigen Lichtausstrahlung nicht in Rechnung gezogen werden.

Folgende Zusammenstellung zeigt den totalen Energieverbrauch, d. h. einschließlich der im Vorschaltwiderstand verbrauchten Energie bei ungefähr gleichwertiger Bodenbeleuchtung für Dauerbogenlampen im Verhältnis zu Lampen mit offenen Bogen bei 110 Volt Netzspannung und gewöhnlicher Schaltung:

Eine Lampe mit abgeschlossenem Bogen und zwei Alabasterglocken	Eine Lampe mit offenem Bogen und Alabasterglocke
4 Amp. . . . . 440 Watt	4·5 Amp. . . . . 248 Watt
5 „ . . . . 550 „	5·5 „ . . . . 303 „
6 „ . . . . 660 „	6·0 „ . . . . 330 „

Anderen Lampen mit abgeschlossenen Bogen gegenüber hat Modell *IV* mit Armatur 35 den Vortheil der größten Lichtausbeute und zwar deswegen, weil erstens die äußere Glocke einen sehr kleinen Durchmesser hat, infolgedessen die Lichtabsorption gering ausfällt, und weil zweitens dicht über dem Lichtbogen ein größerer Reflektor das nach oben strahlende Licht auffängt und nach unten wirft.

3. Dauerbrand-Hauptstrom-Bogenlampe „Elektra“ von E. Mytteis & Comp. in Wien, Fig. 35 und 36.

Die Hauptstrom-Bogenlampe „Elektra“ ist eine einfache Lampe. Sie hat nur die für eine Hauptstromlampe nothwendigsten Theile: 1 Solenoid und 1 Eisenkern mit den daran befindlichen Doppelgelenken.

Das allmähliche Vorrücken der Kohlen wird durch den Reguliermechanismus der Bogenlampe beim Spielen des regulierenden, elektromagnetischen Theiles bewirkt.

Dieser Theil besteht aus zwei Klemmbacken *gg*, Fig. 35 u. 36, deren Drehachsen *ff* mit dem regulierenden elektromagnetisch bethätigten Theile in Verbindung stehen und von letzterem eine Hin- und Herbewegung in der Richtung des zu regulierenden Kohlenstabes erhalten.

Beim Schließen des Stromkreises wird der Eisenkern *c* gehoben, die Klemmbacken *gg* gelangen aus dem Bereiche der Anschlagflächen *h* und senken sich in die Klemmstellung, worauf bei weiterer Aufwärtsbewegung der

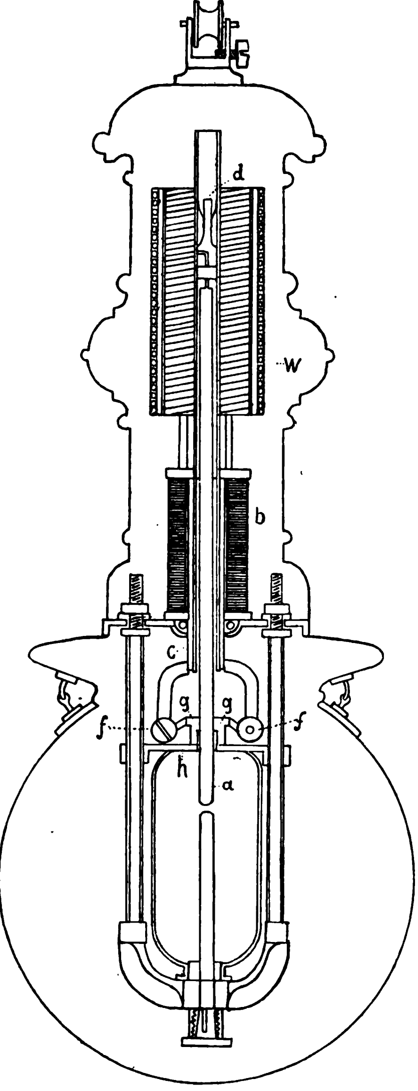


Fig 35. Dauerbogenlampe.

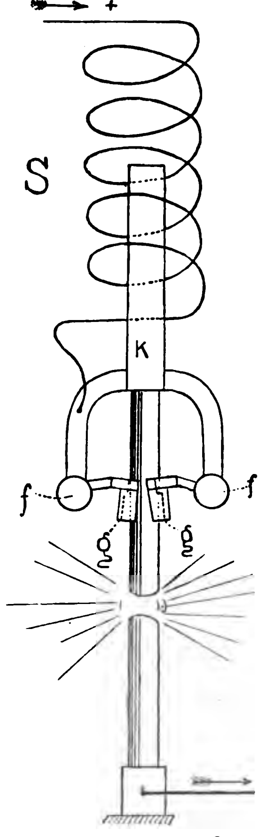


Fig. 36. Dauerbogenlampe.

Kohlenstab mitgenommen wird und somit die Bildung des Lichtbogens erfolgt. Tritt infolge des Abbrennens der Kohle und des sich gleichzeitig vergrößernden Lampenwiderstandes eine Schwächung des Solenoidstromes ein, so sinkt der Eisenkern bis die Klemmbacken gegen den als Anschlag wirkenden Deckel *h* stoßen und hierdurch aus der Klemmstellung gebracht werden. In diesem Augenblick beginnt der Kohlenstab nach abwärts zu gleiten und sinkt solange, bis infolge des sich verkleinernden Widerstandes die Klemmung wieder erfolgt.

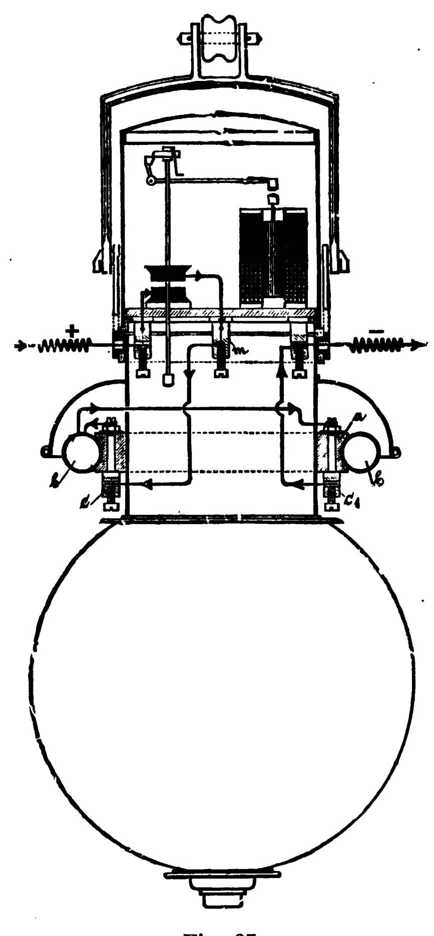


Fig. 37.
Bogenlampen-Kurzschlussvorrichtung.

Der Lichtbogen, dessen Länge 5 bis 10 *mm* beträgt, ist eingeschlossen, was den Zutritt von Sauerstoff hindert, wodurch bei der gleichen Kohlenlänge, im Vergleiche zu den anderen (offenen) Systemen, eine 10- bis 15mal so lange Brenndauer erzielt wird.

17. Kurzschlussvorrichtung.

Selbstthätige Kurzschlussvorrichtung und Ersatzwiderstand Type VII von Körting & Mathiessen, Fig. 37.

Diese Kurzschlussvorrichtung hat den Zweck, die Lampe selbstthätig auszuschalten, wenn der Lichtbogen infolge nahezu beendeten Abbrandes der Kohlenstifte oder aus irgend einem andern Grunde übermäßig lang wird, und bietet somit ebenfalls einen Schutz für die Nebenschlusspule der Lampe gegen Verbrennen, welches erfolgen könnte, wenn die Lampe längere Zeit bis zu hoher Lichtbogenspannung oder nach dem schließlich erfolgenden Abreißen des Lichtbogens unter Strom bliebe; gleichzeitig verhindert diese Vorrichtung aber auch das Verlöschen der ganzen Lampenreihe.

Durch das bei Verlängerung des Lichtbogens verursachte Anwachsen der Lichtbogenspannung gewinnt die Nebenschlusspule an Kraft und zieht dadurch den Eisenkern tiefer in sich hinein, als es die normalen Verhältnisse gestatten. Hierbei wird ein drehbarer Auslösehebel durch einen an dem Eisenkern befestigten Anschlag mitgenommen, und durch eine kurze Drehung des Hebels wird eine Sperrklinke freigegeben. Es fällt dann die auf einer Stange befindliche Kohle auf eine zweite Kohle, wodurch der Kurzschluss hergestellt ist. Soll die Lampe nach Einsetzen neuer Kohlenstifte beziehungsweise nach Beseitigung der Ursache, welche den Kurzschluss bewirkt hatte, wieder eingeschaltet werden, so hebt man durch Druck auf einen nach außen durchragenden Hebel die obere Kontaktkohle so weit, bis sich die Sperrklinke auf den Vorsprung des Ausrückhebels legt.

Das Kurzschließen der Lampe verursacht natürlich eine Verringerung des Widerstandes in der betreffenden Lampenreihe, und wird infolgedessen ein Anwachsen der Stromstärke eintreten. Um eine Beeinträchtigung des guten Funktionierens der übrigen Lampen derselben Reihe zu verhindern, wird es erforderlich, bei Hintereinanderschaltung bis zu 8 Stück, jede Lampe mit einem Ersatzwiderstand auszurüsten, welcher beim Kurzschließen einer Lampe die ganze Lichtbogenspannung oder wenigstens den größten Theil derselben absorbiert.

Der Ersatzwiderstand Type VII ist an der Armatur angebracht, sodass die beim Stromdurchgang erzeugte bedeutende Wärme eine schädliche Beeinflussung des Regelwerkes nicht verursachen kann, wie dies der Fall sein würde, wenn der Ersatzwiderstand im Werkraume der Lampe untergebracht wäre. Aus Fig. 37 ist auch der Stromlauf bei Anwendung eines Ersatzwiderstandes zu ersehen.

Eine unerlässliche Bedingung für das sichere Funktionieren einer mit diesen Kurzschlussvorrichtungen versehenen Lampenreihe ist eine ausreichende Betriebsspannung, die wenigstens 50 Volt pro Lampe betragen muss. Empfehlenswert ist außerdem, die Lampen bei Inbetriebsetzung mittelst eines Anlasswiderstandes einzuschalten. Der Anlasswiderstand kann zugleich den festen Vorschaltwiderstand enthalten oder gesondert von diesem in die Leitung geschaltet werden.

Für Dauerbogenlampen ist dieser Apparat nicht zu verwenden, da das zuweilen eintretende, unvermeidliche Aufflammen des Bogens ein vorzeitiges Kurzschließen der Lampen herbeiführen würde.

18. Umgekehrte Bogenlampen und mittelbares Licht. Hängt man eine Bogenlampe umgekehrt auf, so wirft sie ihr Licht unter Zuhilfenahme eines Reflektors an die Decke des Raumes, welcher be-



Fig. 38. Umgekehrte Bogenlampe.

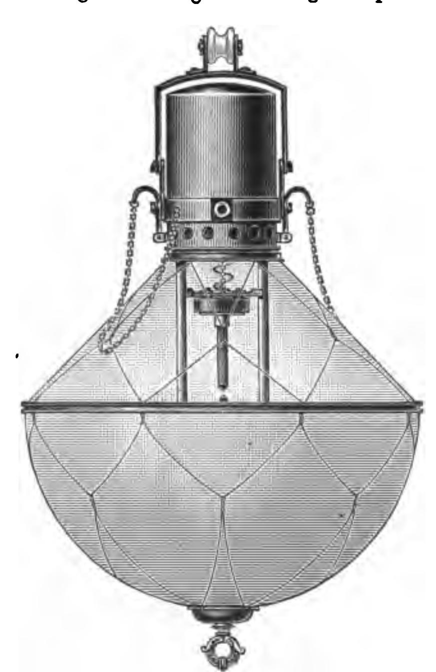


Fig. 39. Umgekehrte Bogenlampe.

leuchtet werden soll. Das Licht wird nicht von einem einzigen Punkte, sondern von einer großen Fläche reflektiert, so dass keine scharfen Schatten entstehen. Bis 80% des Lichtes werden vermittelst der umgekehrten (invertierten) Bogenlampe von einer mattweißen Fläche reflektiert. Man nennt dieses Licht mittelbares (indirektes) Licht. Der Reflektor soll behufs Vermeidung von Schattenwirkungen möglichst groß sein. Fig. 38 stellt eine solche Bogenlampe der Elektricitäts-Gesellschaft Hansen dar. Fig. 39 gibt eine umgekehrte Bogenlampe derselben Firma wieder. Die Armatur besteht aus einer Halbkugel aus Opalglas, welche den ganzen Lichtstrom aufnimmt. Eine weitere Konstruktion derselben Firma besitzt zu letzterem Zwecke einen emaillierten Blechreflektor. Diese Lampen eignen sich insbesondere für Fabriken (Spinnereien u. s. w.) und Zeichensäle. In Färbereien und Webereien benützt man gelbliche Deckenflächen, um dem bläulichen Scheine des Lichtes entgegenzuwirken. Die umgekehrten Lampen funktionieren leicht unruhig, weil die Aschenbestandtheile von der negativen oberen Kohle in den Krater der positiven unteren Kohle fallen. Wegen ihrer Lichtvertheilung sind diese Lampen tiefer aufzuhängen als gewöhnliche Bogenlampen.

19. Beruhigungswiderstand für Bogenlampen. Zur Erzielung

eines ruhigeren Lichtes und zur Vermeidung von Kurzschlüssen in parallel geschalteten Lampenstromkreisen werden sogenannte Beruhigungswiderstände verwendet. Sie stellen einen Widerstand dar, welcher im Vergleiche zu den Lichtbögen der Bogenlampen fast unveränderlich ist und nur durch sehr starke Erwärmung etwas steigt. In Gleichstromkreisen verwendet man zu diesem Widerstande Spiralen, Bänder, Geflechte, Gewebe u. s. w., insbesondere aus Neusilber, Kupfer, Eisen und Kruppin. Besteht die Leitung aus einem Materiale von hohem specifischen Widerstande (z. B. aus Eisendraht), so kann der Beruhigungswiderstand theilweise oder gänzlich durch den Widerstand der Leitung ersetzt werden. Leitungs- und Beruhigungswiderstand zusammen bilden dann den Vorschaltwiderstand der Bogenlampe.

Fig. 40 zeigt einen regulierbaren Vorschaltwiderstand aus Neusilber auf eine Porzellanrolle aufgewickelt.

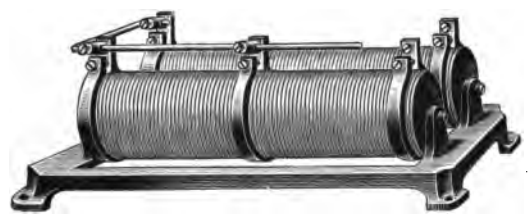


Fig. 40. Vorschaltwiderstand.

In Wechselstromkreisen können anstatt der obigen Beruhigungswiderstände Induktionsspulen (Drosselspulen) verwendet werden; sie tilgen viel weniger elektrische Arbeit als die Beruhigungswiderstände. Der effektive Spannungsverlust, welcher durch eine Drosselspule erzielt wird, ist gleich dem Widerstande des Drahtes der Drosselspule mal der Stromstärke, welche durch die Drosselspule fließt. Da dieser Widerstand sehr klein ist, so ist auch der Spannungsverlust sehr klein. Die Drosselspulen bewirken jedoch eine große Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung im Netz und sind deshalb in manchen Elektricitätswerken verboten. Die Drosselspulen wirken weniger durch ihren Widerstand als dadurch, dass die Kraftlinien, welche durch den Strom in den Eisenkernen derselben erzeugt werden, einen Gegenstrom in den Windungen hervorrufen, welcher den ursprünglichen Strom schwächt. Die Wirkung ist demnach dieselbe als wenn der Widerstand der Windungen der Drosselspule erhöht worden wäre. Man nennt diesen erhöhten Widerstand den scheinbaren Widerstand.

Die Beruhigungswiderstände werden den Lampen vorgeschaltet, befinden sich also mit denselben in Hintereinanderschaltung. Die Wider-

stände sind feuersicher zu montieren, da sie sich häufig sehr stark erwärmen; ihre Schutzkästen sollen aus unverbrennlichem Material hergestellt oder wenigstens mit solchem Material ausgekleidet und behufs Lüftung mit Öffnungen versehen werden. Die Aufstellung dieser Widerstände soll an einem trockenen, von Erschütterungen freien Orte erfolgen, welcher keine entzündbaren Gase oder leicht brennbare oder explosible Stoffe enthält.

Die Größe des Beruhigungswiderstandes hängt von der Güte des Regulierens der Bogenlampen ab und beträgt 20 bis 30% der gesammten Spannung der Lampen des betreffenden Stromkreises. Differentiallampen gestatten, wenn sie vorzüglich regulieren, einen Beruhigungswiderstand von nur 5 bis 10%. In letzterem Falle wird jedoch ein in Stufen getheilter Anlasswiderstand verwendet, welcher das ruhige Anbrennen der Lampen ermöglicht. Die Größe des Beruhigungswiderstandes ergibt sich aus der Formel:

$$\text{Widerstand} = \frac{\text{Netzspannung} - \text{Lampenspannung.}}{\text{Stromstärke}}$$

Diese Formel gilt für die Parallelschaltung. Für die Hintereinanderschaltung von Lampen versteht man unter Lampenspannung die Summe der Spannungen der hintereinander geschalteten Lampen. Die Beruhigungswiderstände müssen von Zeit zu Zeit von Staub und an den Kontakten mit Schmirgelpapier gereinigt werden.

20. Ersatzwiderstand. Um einzelne Lampen ausschalten zu können, verwendet man Ersatzwiderstände. Zumeist tritt dieser Fall beim Versagen einer Lampe eines Stromkreises ein. Der Ersatzwiderstand ermöglicht den ungestörten Betrieb der übrigen Bogenlampen des Stromkreises. Diese Widerstände können entfallen:

1. Wenn nur zwei oder drei Bogenlampen in einem Stromkreise hintereinander geschaltet sind, weil dann nur zwei oder drei Lampen versagen können.

2. Wenn mehr als zwanzig Lampen in einem Stromkreise hintereinander geschaltet sind, weil dann die Lampen mit Kurzschlussvorrichtungen versehen sind und ein Kurzschluss einer Lampe die übrigen Lampen fast gar nicht beeinflusst. Die Ersatzwiderstände werden zumeist in der Lampe angebracht und durch deren selbstthätige Kontaktvorrichtung bethätigt.

Die Aufstellung und Unterhaltung dieser Apparate muss in derselben Weise erfolgen wie bei den Beruhigungswiderständen und allen Starkstromwiderständen überhaupt.

21. Lampentransformator. Zur Vermeidung der viel Arbeit tilgenden großen Vorschaltwiderstände oder zur Vermeidung von Drosselspulen, welche eine große Phasenverschiebung im Stromkreise bewirken, verwendet man Lampentransformatoren.

In einem solchen Transformator kann entweder eine Bogenlampe eingeschaltet oder es können mehrere Bogenlampen parallel geschaltet werden. In beiden Fällen sind in den Lampenstromkreisen Beruhigungswiderstände unentbehrlich.

22. Lampenzugehör. Gegen Witterungseinflüsse, Staub u. s. w., pflegt man den Mechanismus der Lampen durch Gehäuse zu schützen.

Zur Vermeidung des Herabfallens glühender Kohlentheilchen, des Ausblasens des Lichtes im Freien, sowie zur Dämpfung zu grellen Lichtes, dienen Glaskugeln, welche jedoch die Stärke des Lichtes schwächen. Die durch Glaskugeln herbeigeführten Verlustpercente betragen: [1])

Durchsichtige Kugel 47%,
Matte Kugel 77%,
Opalkugel . . . . 81%.

Die Verluste ändern sich mit der Dicke und den sonstigen Abmessungen der Kugeln.

Zur Dämpfung des zu grellen Lichtes, bei geringerem Lichtverluste, eignet sich besonders das sogenannte dioptische Glas von Brähmer in Berlin.

23. Erwärmung der Lampen. Die Erwärmung der Lampen ist, selbst bei guter Lüftung, nicht gänzlich zu vermeiden und es dürfen deshalb die beweglichen Theile des Mechanismus nicht zu stramm in einander greifen. Besondere Vorsicht ist bei Lampen, die möglichst luftdicht verschlossen sind (z. B. Lampen in Färbereien), anzuwenden; dieselben müssen, bezüglich der Erwärmung der sorgfältigsten Prüfung unterzogen werden. Die genaue Einstellung, der Lampen auf bestimmte Stromverhältnisse darf erst erfolgen, wenn die Erwärmung der Spulen den gegebenen Betriebsverhältnissen entspricht.

24. Wartung der Lampen. Bei Lampen mit Platinkontakten sind die Letzteren von Zeit zu Zeit zu reinigen, da dieselben durch Kontaktfunken oxydieren, verbrennen und dadurch Unterbrechung herbeiführen. Das Reinigen der Platinkontakte geschieht mittelst feinsten Schmirgelpapiers.

[1]) J. D. Guthrie und F. E. Reidhead, Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1894, Seite 240.



Der vom Strome durchflossene Lampenkörper muss vollständig von der Erde isoliert sein.

Beim Einsetzen der Kohlen sind die Halter derselben von einander (oder der obere Kohlenhalter von dem unteren) äußerst vorsichtig und ohne Gewalt anzuwenden, auseinander zu schieben (von einander zu trennen).



Fig. 41.
Aufhängung der Bogenlampen.

Es ist besonders darauf zu achten, dass die Kohlenspitzen sowohl bei neu eingesetzten, als auch bei schon gebrauchten Kohlen, konisch geformt sind und genau über einander stehen, weil sonst ein seitliches Abbrennen derselben und ein Flackern des Lichtes eintreten.

Die Spitzen der neu eingesetzten Kohlen müssen sich bei 10 Ampère mindestens 3 *mm* auseinander ziehen lassen.

Bei jedem Neueinsetzen von Kohlen sollen die Kohlenhalter und die aus dem Gehäuse hervorragenden Theile gereinigt werden.

Der Lampenmechanismus muss zeitweise einer Prüfung und Reinigung unterzogen werden. Der Staub ist mittelst eines Pinsels zu entfernen. Zum Reinigen der Führungen und Metalltheile verwendet man einen reinen, mit Benzin befeuchteten Lappen. Sämmtliche Theile des Mechanismus sind in Bezug auf ihre Beschaffenheit, richtige Einstellung u. s. w. zu prüfen.

25. Aufhängung der Bogenlampen.

Die Lampen sollen in der Regel so vertheilt sein, dass die Beleuchtung eine möglichst gleichmäßige wird und dass die Lampen leicht zugänglich sind. Als Aufzugvorrichtungen dienen Windetrommeln oder Gegengewichte, Fig. 41. In trockenen Räumen kann zur Aufhängung ein Hanfseil, in feuchten Räumen muss zu diesem Zwecke ein Stahldrahtseil verwendet werden. Bundstellen des Stahldrahtseiles umwickelt man mit verzinktem Eisen- oder Stahldraht. Verwendet man zum Umwickeln Kupferdraht, so treten durch Feuchtigkeit elektrolytische Zerstörungen auf. Die Spleißung des Seiles verhindern Seilschlösser. Für Seile von 6 *mm* Durchmesser soll der Rollendurchmesser der Schonung des Aufzugseiles wegen mindestens

80 *mm* betragen. Die Rollen sind zeitweise mit konsistentem Fett zu schmieren; sie müssen sich leicht und mit Spielraum drehen, damit sie sich insbesondere im Freien nicht festrosten und damit das Seil nicht durch Gleiten beschädigt wird. Wenn die Lampen Erschütterungen ausgesetzt sind, so erfolgt ihre Aufhängung an Spiralfedern. Die Aufhängevorrichtung ist von Zeit zu Zeit auf Haltbarkeit zu prüfen. Ebenso müssen hölzerne Maste gegen Fäulnis geschützt und zeitweise auf Tragfähigkeit geprüft werden. Die beweglichen Stromzuführungen zu den Lampen bestehen aus gut isolierten Kupferdrahtlitzen. Wegen sonstigen Verschlingungen sollen dieselben nicht zu lang, trotzdem aber bei ganz herabgelassener Lampe nicht zu straff gespannt sein. Die beweglichen Leitungen haben deshalb in der Mitte zwischen der höchsten und tiefsten Stellung der Lampe zu beginnen. Ein Ampère Gleichstrom erhellt einen Arbeitsplatz von etwa 10 m^2 Bodenfläche genügend; bei Wechselstrom darf diese Fläche nur halb so groß angenommen werden.

Der Zusammenhang zwischen Stromstärke, Lampenabständen und Aufhängehöhen ist der folgende:

1. In geschlossenen Räumen:

Stromstärke in Ampère	Lampenabstände in Hallen in Metern
4	8
6	10
8	12—14.

Für die Aufhängehöhe gelten dieselben Bestimmungen, wie für die Aufhängung im Freien; sie darf bei zu niedrigen Räumen kleiner gewählt und bei zu hohen Räumen überschritten werden.

2. Im Freien:

Stromstärke in Ampère	Lampenabstände auf Straßen und Plätzen in Metern	Lichtbogenhöhe über dem Fußboden in Metern
8	70	8
10	100	10—12
16	150	15—20.

Für oberflächliche Schätzungen der Aufhängehöhe kann man die praktische Regel benützen. Die Aufhängehöhe in *m* ist doppelt so groß, als die Anzahl der Ampère.

26. Bogenlampenschaltungen. Die Klemmen der Gleichstromlampen sollen die Zeichen + und — tragen. Der Strom fließt in der Richtung von der positiven zur negativen Kohle. Die positive Kohle ist zugleich die obere, ausgenommen hievon sind die Lampen für mittel-

bare (indirekte) Beleuchtung. Bei einzelnen Wechselstromlampen erscheinen beide Klemmen vollkommen gleichwertig. Bei Lampen jedoch, welche gleichzeitig sichtbar sind (Lampen in demselben Raume oder in benachbarten Räumen) wechselt man von Lampe zu Lampe die Pole. Durch die letztere Schaltung wird das Flimmern des Lichtes vermindert. Das Flimmern tritt insbesondere bei niedrigen Wechselzahlen des Stromes auf und kann auch durch Reflektoren abgeschwächt werden.

Die erforderliche Netzspannung bei guten Lampen erhält man, wenn man die Anzahl der Lampen bei Gleichstrom mit rund 48, bei Wechselstrom mit rund 36 multipliciert.

1. Hintereinanderschaltung. In älteren Anlagen findet man in Deutschland noch viele Bogenlampen hintereinander geschaltet, so zwar, dass jede Bogenlichtmaschine nur einen Lampenstromkreis speist. Damit mit dem Versagen einer Lampe nicht sämmtliche Lampen versagen, werden die einzelnen Lampen bei Gleichstrom mit Kurzschlussautomaten oder mit selbstthätigen Ersatzwiderständen versehen. Bei Wechselstrom schaltet man zur Vermeidung dieser Betriebsstörung parallel zu den einzelnen Bogenlampen Drosselspulen, welche etwa 10% des Lampenstromes tilgen. In Hintereinanderschaltung mit den Bogenlampen befinden sich noch Sicherungen, ein Schalter, ein Stromzeiger und ein Beruhigungswiderstand. Bei der Hintereinanderschaltung vieler Lampen wird außer dem Beruhigungswiderstande ein Anlasser angewendet; derselbe ist sowie der Anlasser eines Elektromotors während des normalen Betriebes ausgeschaltet. Dieses System erweist sich für große Entfernungen als wirtschaftlich günstig.

2. Einfache Nebeneinanderschaltung. Jede Lampe wird einzeln an die Hauptleitung geschaltet. Hintereinander befinden sich in dem Stromkreise jeder Lampe noch Sicherungen, ein Schalter und ein Beruhigungswiderstand. Sämmtliche Lampen sind demnach unabhängig von einander ein- und ausschaltbar. Die Netzspannung muss bei Gleichstrom 65 Volt, bei Wechselstrom je nach der Stromkurve 36—42 Volt betragen. Spitze Stromkurven erfordern geringe Spannungen. Für große Entfernungen ist dieses System wirtschaftlich ausgeschlossen.

3. Gruppenschaltung. Zwei oder mehrere Lampen (zumeist 2 bis 4) werden hintereinander geschaltet und an die Hauptleitungen angeschlossen. In Hintereinanderschaltung mit den Lampen befinden sich noch in jeder Lampengruppe Sicherungen, ein Schalter und ein Beruhigungswiderstand, sodass die Gruppen unabhängig voneinander ein- und ausschaltbar sind. Bei Gleichstrom muss die Netzspannung für zwei hintereinander geschaltete Lampen rund 110 Volt, für vier

Lampen rund 220 Volt betragen. Bei der Dreierschaltung mit Anlasser, welche zuerst durch die Volta-Gesellschaft mit der Hegner-Lampe in die Praxis eingeführt wurde, schaltet man bei 110 Volt 3, bei 220 Volt 6 Lampen hintereinander. Bei Wechselstrom können bei 72—80 Volt 2, bei 110—120 Volt 3 Lampen hintereinander geschaltet werden. Die Gruppenschaltung eignet sich insbesondere für gleichzeitigen Betrieb von Bogen- und Glühlampen. — Bei der einfachen und gruppenweisen Nebeneinanderschaltung werden die Glühlampen nebeneinander geschaltet.

Die Hintereinanderschaltung von 3 Bogenlampen zu 110 Volt (Dreierschaltung) mit und ohne Anlasser (§ 14 unter 8) arbeitet mit verkleinertem Lichtbogen und daher verminderter Leuchtkraft. Diese Lampen brennen unruhiger, als die Bogenlampen mit größerem Lichtbogen.

27. Beleuchtungsbetrieb. Die Antriebsmaschinen der Bogenlampendynamo müssen konstante Umdrehungen einhalten und Stromstärke und Spannung müssen dem Stromverbrauche der Lampen entsprechen. Für das Ein- und Ausschalten der Lampen gelten die Regeln:

1. Hintereinanderschaltung. Sobald die Dynamo mit vollen Umdrehungen lauft, werden die Lampen eingeschaltet. Vor dem Ausschalten muss man entweder die Umdrehungszahl auf die Hälfte vermindern oder Widerstände einschalten.

2. Nebeneinander- und Gruppenschaltung. Einzelne Lampen oder Gruppen von Lampen schaltet man mit Hilfe eines Ausschalters ein und aus.

Hintereinander geschaltete Lampen werden praktisch vermittelst eines Anlassers eingeschaltet. Diesen Anlasser schließt man nach der Lichtbogenbildung kurz. Das Anbrennen erfolgt dann ruhiger und der Beruhigungswiderstand kann kleiner sein. Um die Maschinen allmählich zu belasten und zu entlasten, werden die Lampengruppen nacheinander nicht aber gleichzeitig ein- und ausgeschaltet. Man schaltet die nächste Gruppe dann ein, wenn die vorhergehende bereits die Lichtbögen gebildet hat. Das Einschalten muss sich auch deshalb nacheinander vollziehen, weil die Lampen beim Einschalten mehr Strom aufnehmen, als beim regelmäßigen Betrieb. Sollen während des Betriebes neue Kohlen eingesetzt werden, dann muss man die Lampe ausschalten und bei hohen Betriebsspannungen außerdem erden. Zum Schutze gegen Schläge in hochgespannten Anlagen stellt man sich häufig auf ein Brett; dasselbe muss jedoch trocken sein und isolierte Füße besitzen.

28. Fehlerbestimmungen an Bogenlampen. Die Ursachen der unregelmäßigen Thätigkeit oder des gänzlichen Versagens einer Bogenlampe sind:

1. Die Spannung an den Klemmen der Lampe ist zu niedrig. Äußerlich sichtbar wird dieser Fehler durch das Zucken des Lichtbogens, bei manchen Konstruktionen auch äußerlich hörbar durch das mit dem Zucken verbundene, klappernde Geräusch. Je niedriger die Betriebsspannung ist, desto stärker zuckt die Lampe und versagt endlich gänzlich.

2. Die Kohle enthält Silikate und Erden oder ist ungleich dicht. In diesem Falle wird der Lichtbogen unruhig und bildet sich an verschiedenen Stellen zwischen den Kohlen. Diesen Fehler zeigt, außer der Beobachtung des Lichtbogens, ein an die Pole der Lampe angeschlossener Spannungszeiger. Schwanken die Angaben des Spannungszeigers nur um einige wenige Volt, so ist entweder der Gang des Antriebsmotors ungleichmäßig oder es findet ein Schleifen des Riemens statt; schwanken die Angaben des Spannungszeigers innerhalb sehr weiter Grenzen (10, 20 und mehr Volt), so ist die Kohle schlecht. Häufig genügt schon ein Abbrechen und Neuformen der Kohlenspitzen zur Behebung dieses Fehlers.

3. Ein Stromweg, eine Spule oder ungleichpolige Theile der Lampe haben Schluss. Befindet sich der Schluss in einer Spule, so zeigt sich derselbe häufig schon durch das Verbrennen der Isolation an, sind nur einige Windungen oder Lagen kurzgeschlossen, so kann man diese entweder, bei dickdrahtigen Spulen an der verbrannten Isolation oder, bei dünndrahtigen Spulen an der verbrannten Isolation oder an dem geringen Widerstande der Spule erkennen. Den Schluss zwischen zwei ungleichpoligen Theilen der Lampe findet man, falls die Lampe von dem Strome durchflossen ist, schon durch einen Draht, den man an den beiden Enden mit den zu untersuchenden Theilen in augenblickliche Berührung bringt. Geht Strom durch den Probedraht, so ist die Isolation gut, im entgegengesetzten Falle schlecht. Im stromlosen Zustande kann man die Untersuchungen mit einem Galvanometer, einem Induktionsapparate u. s. w., vornehmen.

4. Die Unterbrechung eines Stromweges. Sind die Windungen einer Spule unterbrochen, so findet man den Fehler im stromdurchflossenen Zustande durch die Untersuchung der Erwärmung der Spule. Da die Spulen nie so stark bemessen werden, dass sie bei normaler Beanspruchung gar keine Erwärmung zeigen, kann man annehmen, dass die Spule unterbrochen ist, wenn dieselbe kalt bleibt. Im stromlosen Zustande findet man die Unterbrechung einer Spule mittelst des Induktionsapparates, Läutewerkes, Universalgalvanometers u. s. w. Unterbrechungen können auch an Verbindungstellen (bei Klemmen- und Schraubenverbindungen, Löthstellen u. s. w.) eintreten, oder es kann

eine Verbindungsstelle, durch mangelhaften Kontakt, Ursache eines zu hohen Widerstandes des Stromkreises oder der Unterbrechung desselben sein.

Für den Gang der Untersuchuug der Lampen auf Schluss und Unterbrechung sind die Grundschemen derselben, Fig. 5, Fig. 6 und Fig. 7, maßgebend; diese Untersuchungen erfolgen ganz in derselben Weise, wie die gleichen Untersuchungen bei den dynamoelektrischen Maschinen (I. Th., 2. B., S. 204) und sämmtlichen elektrotechnischen Apparaten und Instrumenten.

5. Die Unterbrechung oder der Schluss in der Leitung zur Lampe oder in dem Vorschaltwiderstande derselben. Es sei hier ganz besonders hervorgehoben, dass man beim Versagen einer Lampe oder dem unruhigen Brennen derselben, in den meisten Fällen den Fehler der Lampe selbst zuschreibt und an der Lampe verschiedene Verstellungen vornimmt, welche häufig zu weitgehenden Reparaturen Veranlassung geben, während der Fehler in den Leitungen oder in dem Vorschaltwiderstande liegt. Bei gründlicher Prüfung einer Bogenlampe muss dieselbe aus dem Leitungznetze ausgeschaltet und mit Strom untersucht werden. Es sei besonders erwähnt, dass es also ganz verwerflich ist, wenn bei der Untersuchung einer sorgfältig geprüften Lampe der Fehler, ohne weitere Prüfungen in den Leitungen oder in dem Vorschaltwiderstande, in der ersteren allein gesucht wird.

Arbeitet die Lampe bei normaler Betriebsspannung gut, so liegt der Fehler in der Leitung oder in dem Vorschaltwiderstande. Die Lampe brennt entweder mit zu hoher oder zu niederer Stromstärke, je nachdem die Leitung sammt Vorschaltwiderstand einen zu kleinen oder zu großen Widerstand haben. Bei zu großem Widerstande der Leitung sammt dem Vorschaltwiderstand tritt das Zucken der Lampe ein; dann ist entweder der Widerstand der Leitung oder der Vorschaltwiderstand zu groß. Dieser Fehler liegt, falls die Leitung aus Kupferdrähten oder Kabeln besteht, gewöhnlich im Vorschaltwiderstande. Leitungen aus Eisendrähten werden oft gleichzeitig als Vorschaltwiderstand benutzt und können leicht einen zu hohen Widerstand haben. Leitungen aus Kupferdrähten haben in der Regel einen so kleinen Widerstand, dass sie die Thätigkeit der Lampe nicht beeinflussen können; ausgenommen sind die Fälle der theilweisen oder gänzlichen Unterbrechung der Leitung, welche mit dem Zucken der Lampe oder dem Versagen derselben verbunden sind.

Erhält die Lampe bei normaler Betriebsspannung zu viel Strom, so muss derselben solange Widerstand vorgeschaltet werden, bis sich die normale Stromstärke einstellt.

III. Kapitel.

Die Glühlampen.

29. Geschichtliche Daten. Die erste Glühlampe erfand R. J. Grove (1840, Veröffentlichung 1845). Die erste Glühlampe mit Kohlenbrenner im luftleeren Raume (Vacuum) stammt von J. W. Starr (1845). Nach diesen Erfindern sind zu nennen: S. Maxim (1877, Platinlampe), W. E. Sawyer und Albon Man (1878, Lampe mit hartem Kohlenbrenner). Edison gelang es im Jahre 1879 die erste brauchbare Lampe mit verkohltem Papierbrenner herzustellen. Die Erfolge mittelst Glühlicht, in Paris (1881) und New-York (1882), gaben Anlass zu dem Aufschwunge der modernen Elektrotechnik und zum Baue von großen dynamoelektrischen Maschinen bis zu einer Leistung von 5000 Pferdekräften.

30. Die Fabrikation der Glühlampen. Das Material der Glühlampenfäden bilden zumeist verkohlte Pflanzenfasern. Die Brushcompagnie in London verwendet nitrierte Pflanzenfasern, de Khotinsky Gelatine oder Collodium, die Swan-Company Baumwollfäden. Weiters werden Fasern von Gräsern, Manilla, Hanf, Flachs, Papier, Bambus, Indiafaser, Piassawa, Kittul u. s. w. angewendet. Die Pflanzenfaser muss sich im guten, trockenen Zustande befinden. Für Glühlampen von hohen Normalkerzen verwendet man ähnliche Materialien, wie für die Kohlen der Bogenlampen. Die Faser wird in diejenige Form gebracht, welche der Kohlenbügel erhalten soll; dies geschieht dadurch, dass man dieselbe über Formen aus Kohle oder Thon wickelt, diese Formen in feuerfeste Tiegel bringt, jede Lage Fäden mit Kohlenstaub oder Graphit bedeckt, luftdicht verschließt und in Glühöfen etwa 5 Stunden der Glühhitze aussetzt. Die Temperatur im Glühofen muss gleichmäßig sein und rund 1000 bis 1200° *C* betragen. Die durch diesen Vorgang, innere Verkohlung (Karbonisierung) genannt, erzeugten Kohlenbügel haben einen zu großen Widerstand, sind zu porös und besitzen keine genügende Festigkeit. Durch ein weiteres Verfahren, die äußere Verkohlung, wird auf diesen Kohlenbügeln Kohlenstoff von außen niedergeschlagen. Man bringt die Kohlenbügel entweder in flüssige oder gasförmige Kohlenwasserstoffe (Petroleum, Benzin, Leuchtgas u. s. w.) und leitet Strom durch dieselben; die

Kohlenfäden werden glühend, die Kohlenwasserstoffe zersetzt und der Kohlenstoff an den Kohlenfäden von außen niedergeschlagen. Da die porösen Kohlenfäden einen sehr hohen Widerstand haben (einige 1000 Ohm), sind dieselben sehr schwer zum Glühen zu bringen. Schließt man die Dynamomaschine bei eingeschaltetem Kohlenfaden einen Augenblick kurz, so erfolgt das Glühen und eine sehr bedeutende Widerstandsverminderung desselben. Durch die äußere Verkohlung werden die Kohlenfäden auch gleichmäßig dick, da dort, wo der Kohlenfaden dünner ist, ein stärkeres Glühen und Niederschlagen von Kohlenstoff stattfindet. Werden flüssige Kohlenwasserstoffe angewendet, so muss man, in dem Augenblicke des Aufleuchtens des Kohlenbügels, Widerstand in den Stromkreis einschalten, da sonst eine zu starke Erhitzung derselben platzgreift.

Als Zuleitung für den Kohlenbügel benützt man Platin, weil sich dasselbe beinahe ebenso ausdehnt, wie Glas (insbesondere Bleiglas). Bei

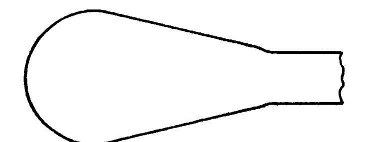


Fig. 42. Glasbirne.

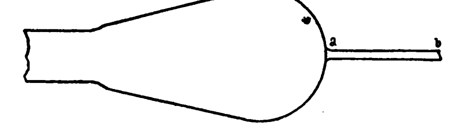


Fig. 43. Glasbirne mit Glasröhrchen.

Anwendung eines anderen Materials kann das Glas bei der Erwärmung der Kontaktstelle, zwischen der Zuleitung und dem Glase, durch die ungleichmäßige Ausdehnung brechen und Luft in die Lampe eindringen. Edison befestigte seine Fäden dadurch, dass er dieselben an den Enden verbreiterte, zwischen, an den Enden flachen Kupferdrähten einklemmte und an diesen Verbindungsstellen, auf galvanischem Wege, Kupfer niederschlug. Da diese Verbindungsstellen Luft enthielten, verstärkte man die Fäden an den Enden durch Aufschlagen von Kohlenstoff, umschloss dieselben mit röhrenförmig gestalteten Platindrahtenden und versah dieselben mit einem Kohlenstoffniederschlage. Eine sehr einfache Befestigung des Kohlenfadens erfolgt durch einen feucht aufzutragenden Kitt. Der Kitt besteht hauptsächlich aus Kohlenstoff und einem Bindemittel (z. B. Zucker). Man nennt diesen Vorgang der Befestigung der Kohlenfäden das Aufsetzen der Fäden auf die Lampenfüße. Die fertigen Kohlenfäden werden mit den Platindrähten in einen Ballon (Birne) eingeschmolzen. An diesen Ballon, Fig. 42, wird vorerst ein kleines Röhrchen *a b*, Fig. 43, angeschmolzen, welches man behufs Luftverdünnung (Evacuierung), auf

eine Quecksilberpumpe aufsetzt. Ist die Luftverdünnung genügend weit vor sich gegangen, so schmilzt man das Röhrchen *a b* zu. Es erweist sich als unvortheilhaft, die Lampen mit den Platindrähten (Platinösen) unmittelbar einzuschalten. Die allgemeinste Befestigungsart der Kontakte an dem Glase ist die mittelst Gips. Die Enden der Platindrähte werden mit verzinnten Kupferdrähten verlöthet und eingegipst.

Die Verbindungen der Glühlampen mit den Leitungen erfolgen durch die sogenannten Fassungen.

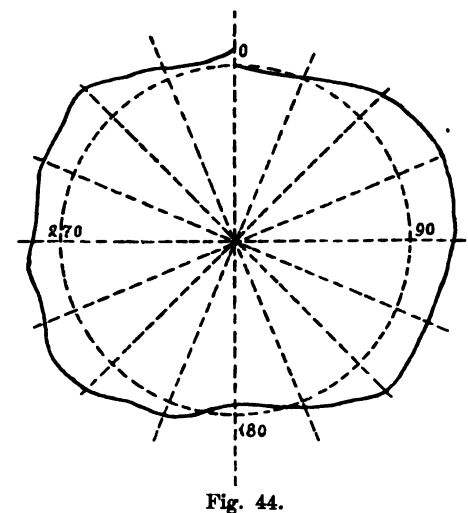


Fig. 44.
Glühlichtvertheilung in wagrechter Richtung.

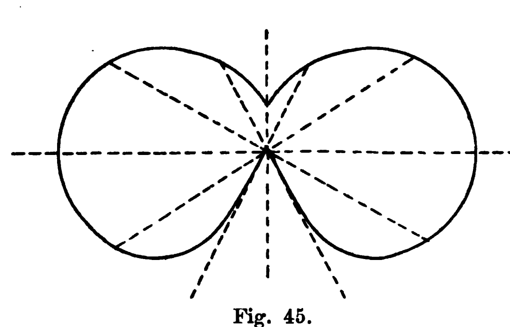


Fig. 45.
Glühlichtvertheilung in senkrechter Richtung.

31. Die Vertheilung des Glühlichtes. Bei Glühlicht und elektrischen Kerzen ist das Licht in wagrechter und senkrechter Richtung ungleichmäßig vertheilt. Die Figuren 44 und 45 zeigen das Bild der Lichtvertheilung, für einen hufeisenförmig gekrümmten Glühfaden, in wagrechter, Fig. 44, in senkrechter, Fig. 45, Ebene.

32. Glühlampen und Glühlampenfassungen.

Von den verschiedenen Fassungen seien genannt: Edison, Lane-Fox, Maxim, Siemens, Bernstein, Huber, Egger, Helios, Vitrite, Cruto, Ganz u. s. w.

1. Die Fassung von Edison. Fig. 46 zeigt die Glühlampe von Edison. Die Fig. 47 und 48 stellen die Glühlampenfassung von Edison mit Hahn dar. Der Glühlampenfuß ist in eine messingene Gewindehülse, Fig. 46, eingeschlossen (ein Pol der Kohle). Unter dem Fuße der Lampe befindet sich eine Blechkappe k_1 (zweiter Pol der Kohle). Die Hauptbestandtheile der Fassung, Fig. 47 und 48, sind ein Muttergewinde *M* (ein Pol der Lampenleitung) und eine isolierte Brücke *b*

(zweiter Pol der Lampenleitung). Schraubt man die Glühlampe in die Fassung, so werden die Blechkappe k_1, am Fuße der Lampe, gegen den Kontakt K der Brücke gedrückt und die Lampe eingeschaltet. Der Hahn H dient zum Ausschalten der Lampe.

Der Strom fließt von der Klemmschraube k_1 durch den Kontakt c der Brücke b, die Schraube s_1, den Kontakt K, die Blechkappe K, die Lampe (den Kohlenfaden), das Muttergewinde M zur Schraube s_2 und der Klemmschraube k_2.

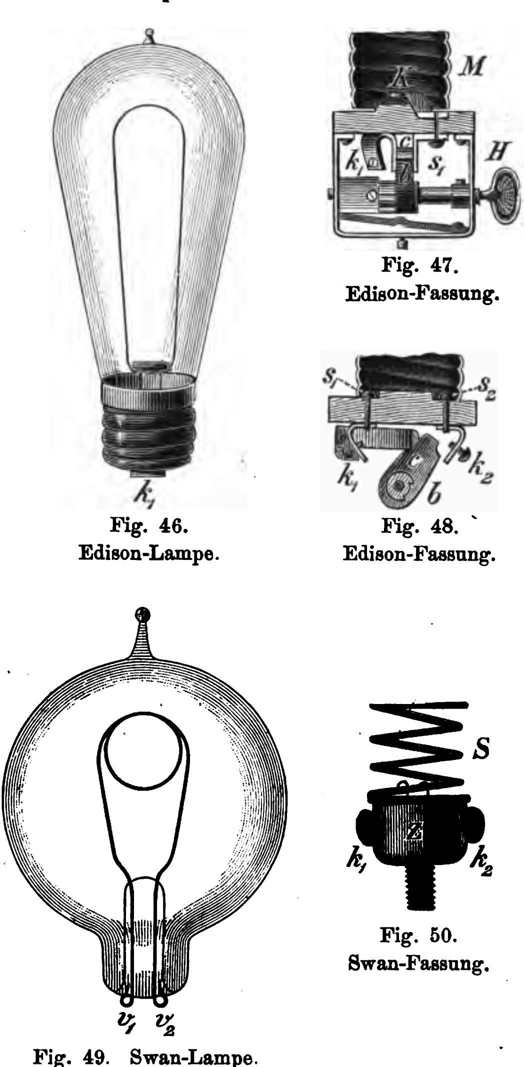


Fig. 46. Edison-Lampe.

Fig. 47. Edison-Fassung.

Fig. 48. Edison-Fassung.

Fig. 49. Swan-Lampe.

Fig. 50. Swan-Fassung.

2. Die Fassung von Swan. In Fig. 49 ist die Glühlampe, in Fig. 50 die Fassung der Lampe von Swan abgebildet. Die Befestigung der Lampe mit der Leitung besorgen Platinösen; letztere können sehr leicht gebrochen werden oder durch schlechten Kontakt abschmelzen. Sowohl die Lampe, als auch die Fassung zeichnen sich durch ihre Einfachheit aus. Auf dem Holzzapfen Z, Fig. 50, sind zwei Häkchen befestigt, welche mit den Klemmschrauben k_1 und k_2 in Verbindung stehen. Die Lampe hängt mit den Platinösen v_1 und v_2, Fig. 49, in zwei Häkchen, Fig. 50, welche in dem Holzzapfen befestigt sind. Der Druck einer Spiralfeder S, zwischen Zapfen und Lampe, sorgt für einen guten Kontakt und die Spiralfeder S schützt durch ihre Elasticität die Lampe vor starken Stößen. Das Material des Kohlenfadens dieser Lampe bilden Baumwollfäden, welche in Schwefelsäure pergamentartig gemacht und in geschlossenen Gefäßen verkohlt wurden.

3. Die Fassung der Vitrite-Lampe, Fig. 51 zeigen Fig. 52 und 53. Der Lampenfuß der Glühlampe, Fig. 51, ist in eine Hülse h_1 eingegipst, welche zwei Stifte trägt; einen dieser Stifte macht die Figur ersichtlich. Die beiden Pole der Lampe veranschaulichen die Kontakte c_1 und c_2. Die Lampenfassung, Fig. 52 und 53, besteht aus der Bajonettkapsel H, welche auf das Gewinde g aufgeschraubt erscheint. Das, aus einem Isolator hergestellte, Grundplättchen S_2, Fig. 52, S_1, Fig. 53, dient zur Befestigung der beiden federnden Kontakte der Fassung k_1

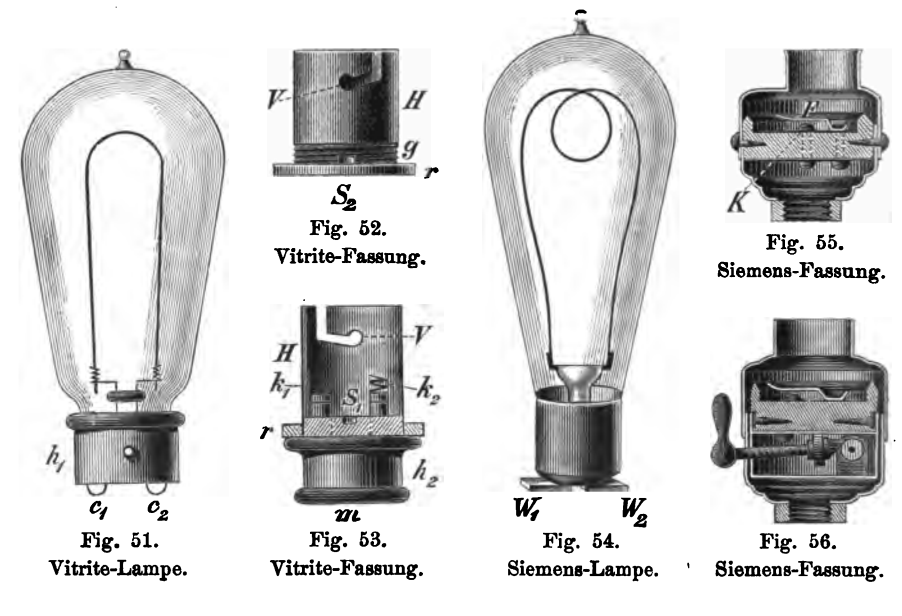


Fig. 51. Vitrite-Lampe.

Fig. 52. Vitrite-Fassung.

Fig. 53. Vitrite-Fassung.

Fig. 54. Siemens-Lampe.

Fig. 55. Siemens-Fassung.

Fig. 56. Siemens-Fassung.

und k_2; der Rand r desselben tritt über den Umfang der Kapsel H heraus. Bei m, Fig. 53, werden die Leitungsdrähte in die Lampe eingeführt. Dreht man die Lampe, Fig. 51, mit ihrer Hülse h_1 in die Kapsel H, Fig. 53, so lange, bis sich die Stifte in den Oeffnungen des Bajonettverschlusses V befinden, dann drücken die Kontakte c_1 und c_2 gegen jene k_1 und k_2 und die Lampe ist eingeschaltet. Der Strom fließt dann auf dem Wege: k_1, c_1, Glühfaden, c_2, k_2.

4. Die Lampe und Fassung von Siemens & Halske. Die Fig. 54 bis 56 stellen die Glühlampe und die Glühlampenfassung von Siemens & Halske dar. In den Lampenfuß sind zwei Messingwinkel W_1 und W_2 eingegipst, welche mit dem Kohlenfaden in Verbindung stehen. Die Pole der Fassung, Fig. 55 und 56, bilden zwei Metallknöpfe, welche isoliert aufmontiert sind. Die Metallknöpfe K werden durch eine Spiralfeder gegen die Messingfeder F gedrückt.

Das Einschalten der Lampe erfolgt dadurch, dass man den Lampenfuß in die Fassung schiebt und dreht. Die Messingwinkel schieben sich zwischen die Plättchen und Knöpfe. Die Fassungen mit Ausschalter, Fig. 56, sind mit einem Hahne versehen.

5. Die Lampe und Fassung von Cruto, Fig. 57 bis 59. Der Stromweg führt, Fig. 58 und 59, von der Klemme k_2, mittelst eines Kupferdrahtes, zum Messingmantel c_2, zur Hülse C, durch den Kohlenbügel der Lampe, zur Schraube z, welche in das, mit Muttergewinde versehene Stück c_1 eingeschraubt wird, zur Feder f_2 und in der Stellung

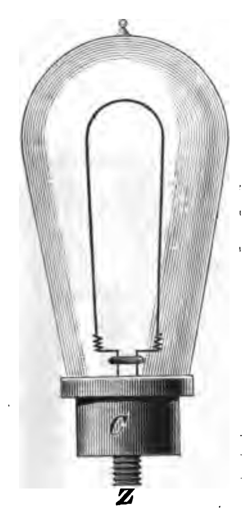


Fig. 57. Cruto-Lampe.

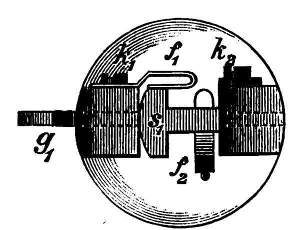


Fig. 58. Cruto-Fassung.

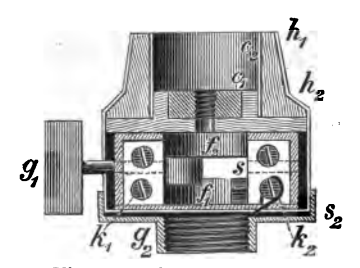


Fig. 59. Cruto-Fassung.

des Griffes g_1, Fig. 58 und Fig. 59, durch das, mit dem Griffe g_1 verbundene, Kontaktstück s_1 (welches T-förmig ist) zur Feder f_1 und der Klemme k_1. Wird der Griff g_1, also auch das Kontakt-T-Stück, um 90 Grade verdreht, so löst sich der Kontakt des T-Stückes s_1 mit der Feder f_1 und die Lampe ist ausgeschaltet.

6. Die Lampe und Fassung der Vereinigten Elektricitäts-Aktiengesellschaft in Wien, Fig. 60 bis 62, haben eine sehr einfache Einrichtung. Die beiden Pole derselben bilden die Hülse C_2 mit der Kontaktschraube k_1 und der Stöpselkontakt H mit der Kontaktschraube k_2. Die beiden Poltheile sind auf Holz montiert und von einander wohl isoliert, so dass ein Schluss durch den Kontaktstift S, zwischen den Poltheilen innerhalb der Fassung, unmöglich ist. Die Lampe erscheint eingeschaltet, wenn die Kontakte zwischen c_1 und c_2 einerseits und S und H andererseits, durch Stecken der Lampe in die

Fassung, hergestellt wurde. Die Drähte werden bei E eingeführt und an die Klemmen k_1 und k_2 angeschlossen. Das Ausschalten der Lampen mit diesen Fassungen besorgen die an denselben angebrachten Patentausschalter A, Fig. 62, deren Detailzeichnung in den Fig. 120 u. 121 folgt.



Fig. 60. Egger-Lampe.

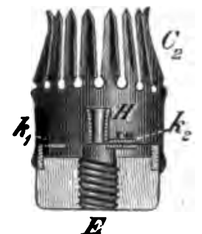


Fig. 61. Egger-Fassung.

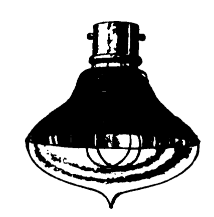


Fig. 63. Glow-Lampe.



Fig. 62. Egger-Fassung.



Fig. 64. Saymar-Lampe.

7. Die Glow-Lampe, Fig. 63. Ein versilberter Reflektor erhöht die Leuchtkraft der Lampe.

8. Die Lampe Saymar, Fig. 64. Der Kohlenfaden befindet sich über einem Porzellanrohr.

33. Die Neben- und Hintereinanderschaltung der Glühlampen. Die Nebeneinanderschaltung hat den Nachtheil, dass sich die Anlage der Leitungen in den Häusern sehr viel theurer stellt, als bei der Reihenschaltung; ferner verursacht die Nothwendigkeit der Schmelzdrähte, um Feuersgefahr zu verhüten, einen sehr erheblichen Nachtheil der Nebeneinanderschaltung und schließlich ist die Lampe mit feinen, dünnen Kohlenfäden dem Auge längst nicht so angenehm, als das von einem dicken, kurzen Kohlenstab, welcher in der Reihenschaltung Verwendung findet, ausgestrahlte Licht. Die Reihenschaltung der Glüh-

lampen hat den Nachtheil, dass die in Anwendung kommende, höhere Spannung eine bessere Isolation nöthig macht, dagegen die Vortheile, dass der Strom beständig erhalten werden kann, dass jede Feuersgefahr vermieden ist, dass die Lampe eine viel bessere Umwandlung der elektrischen Energie in Licht gestattet und dass sich das ganze System sehr erheblich billiger in der Anlage und im Betrieb stellt, als das System der Nebeneinanderschaltung. Zur Erzielung eines beständigen Stromes bedient man sich am besten einer gut konstruierten Dynamo, welche direkt von einer Dampfmaschine angetrieben wird. Beseitigt man an dieser Dampfmaschine den Centrifugalregulator, so reguliert sich die Geschwindigkeit der Maschine, je nach der Anzahl der Lampen im Stromkreise von selbst, d. h. wenn diese Anzahl groß ist, dann läuft die Dampfmaschine rasch, wird die Anzahl der Lampen verringert, so verringert sich auch die Umdrehungszahl der Dampfmaschine. In vielen Fällen genügt diese Regulierung. Bei einer sehr großen Anzahl von auszuschaltenden Lampen muss die Dampfmaschine mit einem elektrischen Regulator versehen sein; alsdann ist die Regulierung vollkommen.

Die Vortheile dieser Einrichtung sind folgende:

1. Die Dampfmaschine arbeitet bei großer Last ebenso, wie bei kleiner Last mit dem höchsten, unveränderlichen Grad der Expansion, daher mit der größten ereichbaren Wirtschaftlichkeit.

2. Die Abnützung der Maschine ist wesentlich verringert, indem die Maschine bei geringer Last verhältnismäßig weniger Umdrehungen macht.

3. Die Bürsten am Kommutator der Dynamomaschine können immer in der normalen funkenlosen Lage verbleiben, da sowohl der Strom in den Feldmagneten, wie im Anker beständig bleibt.

Bei dem Bernstein'schen System wird allgemein ein Strom von 10 Ampère in Anwendung gebracht und sind die Leitungen hierfür zu bemessen.

34. Glühlampen für Hintereinanderschaltung.

Die Glühlampe und Fassung von Bernstein, Fig. 65 bis 67. Die Form dieser Lampe für Reihenschaltung ist in der Fig. 65 dargestellt. Der leuchtende Körper hat die Gestalt eines geraden Kohlenstabes *a*, welcher an den Enden der Zuleitungsdrähte *b* und b_1 befestigt ist. Diese Drähte sind so gebogen, dass sie sich an der etwas verstärkten Stelle *c* fast berühren. *d* und d_1 sind zwei Hülsen aus isolierendem Material, welche die Zuleitungsdrähte umgeben. Diese Hülsen werden durch eine Spiralfeder *e* aneinander gedrückt. Solange nun die Kohle unverletzt ist, verhindert diese selbst ein Berühren der Drähte in *c*. Bricht die Kohle, so drückt die Feder die

Zuleitungsdrähte langsam zusammen, bis ein an der Stelle *c* entstehender Kontakt, den Kurzschluss in der Lampe herstellt.

Abgesehen von der großen Einfachheit und absoluten Sicherheit der Wirkung, hat diese Konstruktion noch den Vortheil, dass die Bildung eines Lichtbogens in der Lampe, mit den dadurch entstehenden Nachtheilen, vollständig vermieden ist. Diese Lampen werden meist von 16 bis 50 Kerzen hergestellt. Für eine größere Kerzenanzahl, z. B. zur Beleuchtung von Plätzen, empfiehlt sich die Gruppierung mehrerer solcher Lampen in einer Laterne. Diese Anordnung entspricht besser, als die Anwendung einzelner Lampen, von sehr hoher Kerzenstärke, da letztere Lampen meist keine sehr lange Lebensdauer haben

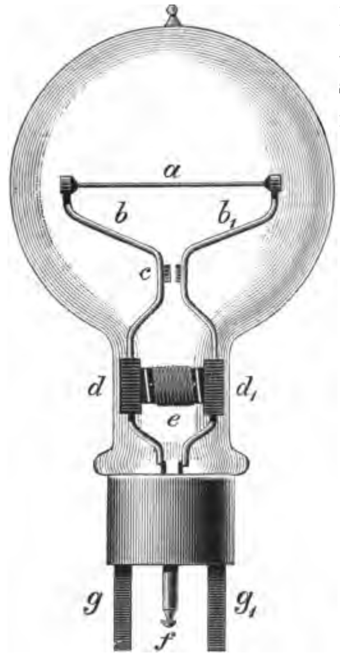


Fig. 65.
Bernstein-Lampe.

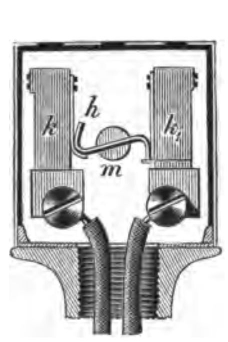


Fig. 66.
Bernstein-Fassung.



Fig. 67.
Bernstein-Fassung.

und außerdem das Versagen einer Lampe das Erlöschen der ganzen Laterne zu Folge hat. Um es bei der Reihenschaltung zu verhindern, dass eine Unterbrechung des Stromes, durch das Entfernen einer Lampe aus dem Halter, entsteht, ist dieser letztere so konstruiert, dass eine Entfernung der Lampe nur nach einem Kurzschluss im Halter selbst vorgenommen werden kann; dieser Kurzschluss erscheint auch nur dann aufhebbar, wenn sich eine Lampe in dem Halter befindet. Der Halter ist in der Fig. 66 und 67 dargestellt. Eine Platte aus isolierendem Material *h* trägt zwei Metallhülsen *k* und k_1, in welchen die quadratischen Stifte *g* und g_1, Fig. 65, der Lampenkappe hineinpassen.

Um einen guten Kontakt, zwischen den Stiften und den Metallhülsen, zu erzielen, sind die vorderen Wände der letzteren durch zwei Blattfedern *i* und *i* ersetzt. Zwei Schrauben befestigen die Zuleitungsdrähte an den Metallhülsen. Das *S*-förmige Stück *m*, welches durch einen Griff gedreht werden kann, dient dazu, im Halter einen Kurzschluss herzustellen. In dem Bilde, Fig. 66, ist dieser Kurzschluss ersichtlich. Zur Erzielung eines guten Kontaktes zwischen dem *S*-förmigen Stücke *m* und den Metallhülsen *k* und k_1 dienen wiederum zwei Blattfedern, von denen die linksbefindliche unten etwas umgebogen ist. An einer der oben erwähnten Blattfedern befindet sich unten ein Stift, welcher in der gezeichneten Lage eine Drehung des Stückes *m* verhindert. Es kann daher ein Öffnen des Stromkreises nicht stattfinden. Wird jedoch die Lampe in den Halter eingesetzt, so heben sich die Blattfedern *i* und *i*, der an der letzteren befindliche Stift kommt jetzt außerhalb des Bereiches von *m* und eine Drehung von *m* kann bis in die Stellung, Fig. 67, stattfinden. In diesem Falle geht der Strom durch die Lampe. Nun erscheint die Lampe in dem Halter gesperrt, weil das *S*-förmige Stück *m* über den Kopf des Stiftes *f*, Fig. 65, an der Lampenkappe hinüber greift. Dagegen kann der Strom nach Belieben an- und abgedreht werden. Will man jedoch die Lampe entfernen, so muss man zuerst das Stück *m* wieder in die Lage Fig. 66 drehen, d. h. Kurzschluss im Halter herstellen. Obwohl jeder Halter eine Kurzschlussvorrichtung besitzt, so ist es mitunter wünschenswert, ganze Gruppen von Lampen zugleich auszuschalten. In diesem Falle bedient man sich eines gewöhnlichen Umschalters zur Herstellung des Kurzschlusses in der Leitung. Bei einer Straßenbeleuchtung nach diesem System kommt, gegenüber der Anwendung von Bogenlampen, noch der Vortheil in Betracht, dass man von der Centralstelle aus nach Belieben die gesammte Beleuchtung, zu Zeiten einer minder hellen Beleuchtung der Straßen verringern kann, was bei der Anwendung von Bogenlampen ausgeschlossen erscheint.



Fig. 68. Glühlampen-Anschluss.

35. Der Anschluss der Glühlampen an die Leitungen erfolgt entweder direkt, Fig. 68, oder indirekt durch eine Armatur (Wandarm, Hängearm, Laterne u. s. w.).

36. Die Schutzglocken haben den Zweck, Entzündungen (Explosionen) der sie umgebenden Gase beim Brechen der Glasbirne aus-

zuschließen, das Bestauben der Lampe zu verhindern oder diese vor Verletzungen, z. B. in Werkstätten, zu schützen. Eine staubdichte Schutzglocke, z. B. für Mühlen, zeigt Fig. 69. Dieselbe besteht aus einer birnförmigen Schutzglocke und aus einer Kappe. Durch das Niederschrauben der Kappe wird ein Gummiring, welcher sich innerhalb derselben befindet, gegen den Glasrand gedrückt. Ein Drahtkorb dient zum Schutze gegen zufällige äußere, mechanische Beschädigungen.

Fig. 70 stellt eine luftdichte Schutzglocke dar. In die Hohlkehle des Deckels einerseits und in die Rinne der Glocke andererseits wird ein Gummiring eingepresst. Diese Schutzglocken sind ganz besonders



Fig. 69. Glühlampen-Schutzglocke.

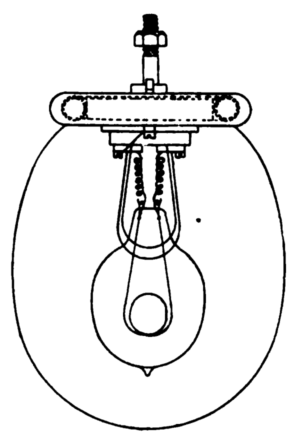


Fig. 70. Glühlampen-Schutzglocke.

für Räume, in denen sich leicht entzündliche Gase befinden und für feuchte Räume (Gährkeller von Brauereien, Färbereien u. s. w.), geeignet. Vor Wind und Wetter werden die Glühlampen zumeist durch Laternen geschützt.

37. Die Lebensdauer der Glühlampen. Nach dem heutigen Stande der Glühlampenfabrikation beträgt die Lebensdauer dieser Lampen höchstens 2000 Brennstunden. Diese Zahl wird größer oder kleiner, je nachdem die Lampen mit einer geringeren oder höheren, als der normalen Spannung oder normalen Lichtstärke glühen.

Die folgende Tabelle zeigt übersichtlich den Zusammenhang zwischen Lichtstärke und Lebensdauer einer 16-kerzigen Lampe bei verschiedener Beanspruchung derselben. Überspannungen von 25% und mehr ertragen die Glühlampen nur einige wenige Stunden. Im allgemeinen wird die Lebensdauer einer Glühlampe umso kürzer, je größer die normale Spannung derselben ist.

Dauer der Glühlampen.

Eine 16-kerzige Lampe brennt mit		Eine 10-kerzige Lampe brennt mit	
Normalkerzen	Stunden	Normalkerzen	Stunden
10	5550	8	2260
11	3963	9	1470
12	2857	10	1000
13	2134	11	714
14	1628	12	512
15	1292	13	385
16	1000	14	294
17	802	15	233
18	651	16	179
19	534	17	145
20	443	18	118
21	371	19	96
22	312	20	80
23	266	—	—
24	228	—	—
25	196	—	—
30	163	—	—

38. Die Prüfung der Glühlampen umfasst:

1. Die Messung der Stromstärke bei der normalen Spannung. Den neuesten Anforderungen, bei den gebräuchlichsten Spannungen, entsprechende Stromstärken enthalten die gegenüberstehenden Tabellen von Siemens & Halske A.-G.

Glühlampen von Siemens & Halske A. G.

Der normale Wattverbrauch beträgt 3·5 Watt pro Kerze.

Kerzen *HK*	Volt	Mittlere Stromstärke		Größter Durchmesser etwa *mm*
		bei Volt	Ampère	
5	20— 35	25	0·70	40
5	45— 75	65	0·27	45
5	90—130	110	0·16	50
10	45— 75	65	0·54	50
10	90—160	110	0·32	50
16	45— 75	65	0·86	56
16	90—160	110	0·51	56
25	45— 75	65	1·35	60
25	90—160	110	0·80	60
32	45— 75	65	1·72	66
32	90—160	110	1·02	66

Glühlampen von Siemens & Halske A.-G.

Der Wattverbrauch beträgt bei Lampen von 5 Kerzen etwa 5 Watt pro Kerze, bei Lampen von 10 Kerzen 3·75 bis 4 Watt pro Kerze, bei Lampen von 16 Kerzen 3·5 Watt pro Kerze und bei Lampen von 25, 32, 50 und 100 Kerzen je nach Wunsch 3 oder 3·5 Watt.

Kerzen *HK*	Volt	Mittlere Stromstärke		Ampère	Größter Durchmesser etwa *mm*
		bei Volt	pro Kerze Watt		
5	180—220	200	5	0·12	56
10	180—250	220	4	0·18	56
16	180—250	220	3·5	0·25	60
25	180—250	220	3·5	0·4	66
32	180—250	220	3·5	0·5	66
50	180—250	220	3·5	0·8	66
100	180—250	220	3·5	1·6	100

2. Die Messung des Widerstandes. Lampen, welche bei derselben Spannung gleich hell brennen und deren Fäden mit derselben Temperatur glühen, haben denselben Widerstand.

3. Photometrische Messung der Leuchtkraft. Die zumeist verwendeten Photometer sind die von Bunsen und Lummer Brodhun (Glühlampen) und Weber (Bogenlampen).

4. Die Bestimmung der Lebensdauer. Dieselbe erfolgt am zuverlässigsten in Beleuchtangsanlagen oder Versuchsstationen mit konstanter, normaler Betriebsspannung, insbesondere in Akkumulatorenanlagen. In Versuchsräumen pflegt man, in dringenden Fällen, ein rasches Verfahren anzuwenden, das darin besteht, dass man das zu prüfende Lampenfabrikat mit einem bekannten Fabrikate bei Spannungen vergleicht, welche die normale Betriebsspannung bis 25% übersteigen.

Die wichtigsten Fehler der Glühlampen sind:

1. Die Kohlenfäden sind schlecht und brennen sehr leicht durch. Das Durchbrennen des Fadens bei vielen Lampen an derselben Stelle, deutet auf einen Fehler in der Fabrikation. Lässt man die Lampe roth glühen, so lassen sich Fehlerstellen (dünnere Stellen) durch stärkeres Glühen leicht erkennen.

Im kalten Zustande kann man die Oberfläche des Fadens auch mit einem Vergrößerungsglase prüfen. Der Faden darf nicht einseitig in der Birne sitzen oder die Wandungen der Birne berühren. Die Windungen des Fadens dürfen sich nicht durch Berührung theilweise kurzschließen.

2. Der Kohlenüberzug der Fäden hat eine zu geringe Haltbarkeit. Dann schlägt sich viel Kohlenstaub auf die Innenfläche der Birne nieder und die Lampen werden braun.

3. Die Luftverdünnung ist unzureichend, wenn der Faden durch Erschütterung nur langsam schwingt und die Lampe sehr heiß wird. Glühlampen, welche geringe Mengen von Stickstoff enthalten, werden sehr heiß, sind infolge der starken Wärmeausstrahlung nicht wirtschaftlich und brauchen, bei gleicher Leuchtkraft, eine viel höhere Spannung.

Birnen, welche mit einem Vergrößerungsglase beobachtet, Sprünge zeigen, sind unbrauchbar. Zur Untersuchung der Luftverdünnung eignet sich besonders der Ruhmkorff'sche Funkeninduktor. Derselbe wird auf einige *cm* Funkenlänge eingestellt. Man hält die Lampe an der Birne, legt einen Pol des Sockels an den einen Pol des Induktors und leitet den anderen Pol des Induktors, durch Berührung mit der Hand zur Erde ab. Ist die Luftverdünnnng eine gute, dann zeigt sich nur ein geringes Phosphorescieren der Glaswände, insbesondere an der Berührungsfläche zwischen Hand und Glaswand. Die Farbe dieses schwachen Lichtscheines ändert sich mit der Glassorte. Manchmal sieht man bei guter oder schlechter Luftverdünnung gar keinen Lichtschein. Bei unzureichender Luftverdünnung sieht man sowie bei Geißler'schen Röhren einen hellen Lichtschein.

4. Die unrichtige Wahl des Glases. Das beste Glas muss dünn sein und eine glatte Oberfläche haben. Lampen aus starkem oder mattem Glase erwärmen sich mehr, als solche aus dünnem Glase.

5. Die Leuchtkraft lässt nach. Sobald die Leuchtkraft der Glühlampen um $^1/_5$ nachlässt, müssen dieselben durch neue ersetzt werden, weil die dunkle Lampe im Verhältnisse zu ihrer Leuchtkraft zu viel Strom verbraucht.

39. Zusammenhang zwischen Normalkerzen, Volt, Ampère und Watt.

Die vorangehenden Tabellen von Siemens & Halske A.-G. geben eine übersichtliche Zusammenstellung zusammengehöriger Werte von Normalkerzen, Volt, Ampère, Watt für 1 Kerze u. s. w.

Bisher unterscheidet man, bezüglich ihrer Konstanten, hauptsächlich dreierlei Glühlampenfabrikate.

Zum bequemen Vergleiche dieser Fabrikate sind in den folgenden Angaben Lampen zu 16 Normalkerzen und 100 Volt vorausgesetzt.

1. Hochwattige Lampen zu 0·5 Ampère und 809 Brennstunden bei gleichmäßiger Lichtstärke während der ganzen Brenndauer.

2. Hochwattige Lampen zu 2000 Brennstunden und mit der Brenndauer abnehmenden Ampère und Normalkerzen. Die neue Lampe gibt

bei 0·5 Ampère rund 16 Normalkerzen, nach 1000 Brennstunden jedoch bei rund 0·25 Ampère, rund 8 Normalkerzen und schließlich nach 2000 Brennstunden, bei etwa 0·17 Ampère, beiläufig 4 Normalkerzen.

3. Niederwattige Lampen [1]) zu 0·388 Ampère und 250 Brennstunden. Die Preise dieser Lampen zu den unter 1. und 2. angeführten stellen sich annähernd wie 7 : 4.

Spannung und *HK* sind in der Regel auf den Glühlampen verzeichnet. Zumeist werden Lampen von rund 110 Volt und 65 Volt, in neuester Zeit auch solche für 250 Volt verwendet.

Eine Lampe zu 110 Volt hat zumeist 16 *HK*, 0·51 Ampère, rund 300 Ohm kalt, 200 Ohm heiß und 800 Stunden Brenndauer; sie braucht rund 3·5 Watt für eine *HK*. Eine 16kerzige Lampe tilgt demnach 0·51 Ampère bei 110 Volt = 56 Watt. Die Stromstärke ergibt sich aus der Gleichung:

$$\text{Stromstärke} = \frac{3{\cdot}5\ HK}{\text{Spannung}}.$$

40. Sortierung der Glühlampen. Die Glühfäden müssen möglichst gleichmäßig sein. Die Sortierung besteht in der Ausscheidung aller fehlerhaften Roh- und Zwischenprodukte und Bestimmung der Spannung. Zu letzterem Zwecke werden insbesondere zwei Methoden angewendet:

1. Ermittelung der Spannung bei bestimmter Kerzenzahl.

2. Ermittelung der Spannung für eine bestimmte Wattzahl. Die Lampen arbeiten dann bei gegebener Spannung alle bei gleicher Temperatur, also mit gleicher Farbe.

Sind die Lampen genau sortiert (haben alle Lampen z. B. 110 *V* und 16 *HK*) und weisen sie gleiche Abmessungen der Kohlenbügel nach, so zeigt es sich auch, dass abweichende Lampen zugleich alle kennzeichnenden Größen der Lampen verändern. Es werden z. B. Lampen von 108, 110 und 112 Volt und 16 *HK* zwischen dieselben Leitungen geschaltet.

Die Lampen zu 108 Volt werden etwa 3 Watt für 1 *HK* verbrauchen.

Die Lampen zu 110 Volt werden etwa 3·5 Watt für 1 *HK* verbrauchen.

Die Lampen zu 112 Volt werden etwa 4 Watt für 1 *HK* verbrauchen.

Die Lampen zu 108 Volt sind glänzender, heller und weißer als die beiden anderen Lampen. Die Lampe zu 112 Volt dagegen

---

[1]) Die Angaben über diese Lampen verdanke ich Ernst Jordan.



wird die längste Lebensdauer und die geringste Wirtschaftlichkeit in Bezug auf den Wattverbrauch haben.

Die Brenndauer der Glühlampen nimmt mit ihrer höheren Temperatur ab.

41. Anforderungen an Glühlampen. In der Praxis wird die Sortierung der Glühlampen ihrer Vertheuerung wegen nicht mit vollständiger theoretischer Strenge durchgeführt. Der Verband Deutscher Elektrotechniker hat folgende Normalien für die zumeist verwendeten Glühlampensorten aufgestellt:

§ 1. Die Lampen werden mit der Spannung bezeichnet, welche der gleichfalls auf denselben zu verzeichnenden Leuchtkraft entspricht. Bei der Lieferung ist eine Abweichung von 2% von der bestellten Spannung nach oben und unten zulässig. Geprüft werden die Lampen mit der auf denselben verzeichneten Spannung. Hierbei ist eine Abweichung von 6% nach oben und 6% nach unten für Leuchtkraft sowohl, als Energieverbrauch zulässig. Überschreitet mehr als $^1/_4$ der geprüften Lampen diese Grenzen, so kann die Sendung zurückgewiesen werden.

§ 2. Maßgebend für die Lebensdauer der Glühlampe ist die Nutzbrenndauer. Unter letzterer versteht man diejenige Brenndauer in Stunden, innerhalb welcher die Lampe bei ihrer verzeichneten Normalspannung um 20% von der auf ihr verzeichneten Leuchtkraft abgenommen hat. Die mittlere Nutzbrenndauer wird von den Glühlampenfabriken angegeben.

§ 3. Vorschriften über photometrische Messungen[1]).

§ 5. Die Glühlampen-Commission empfiehlt den Gewinde-Sockel (Edison) zur allgemeinen Einführung.

Die Paragraphen, welche nur juristische Bestimmungen enthalten, sind hier nicht wiedergegeben.

IV. Kapitel.

Glüh- und Bogenlicht.

42. Licht-Einheiten. Als Lichteinheit gelten die sogenannten Normalkerzen.

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1897, S. 473.

Normalkerzen.

Lichtquelle	Flammenhöhe in mm	Lichtstärke in Münchener Stearinkerzen	Anmerkung
Münchener Stearinkerze	52	1	10·4 *g* in 1 Minute
Deutsche Paraffinkerze *)	50	0·96	12 Stück = 1 *kg*
Englische Walrathkerze	44·5	0·94	7·77 *g* in 1 Stunde **)
Französische Carcellampe	40	7·6	42 *g* Colzaöl ***)
Amylacetat-Lampe	43	0·94	8 *mm* Dochtröhre
Violle-Platin-Einheit	—	16·4	Pariser Conferenz 1884

*) 20 *mm* stark, Docht mit 24 Fäden.
**) 120 Grains englisch.
***) Dochtröhre 39 *mm* stark.

F. von Hefner-Alteneck hat eine beständigere Lichteinheit vorgeschlagen; dieselbe enthält eine Dochtröhre aus Neusilber, 8 *mm* innerem, 8·5 *mm* äußerem Durchmesser, mit massivem Dochte. Die Füllung ist Amylacetat. Die Flammenhöhe vom Rande der Dochtröhe bis zur Spitze beträgt 40 *mm*. Die Leuchtkraft ist etwa dieselbe, wie jene der deutschen Normalkerze. Nach E. Liebenthal beträgt die mittlere Schwankung der Flammenhöhe 0·16 *mm*, jene der Leuchtkraft 0·4%.

Zur Messung der Flammenhöhe aller Normalflammen benutzt man zumeist das optische Flammenmaß von Krüss.[1])

Eine Normalkerze beleuchtet eine ebene, kleine Fläche im Abstande von 1 *m* mit der Stärke von 1 Meterkerze, wenn die Strahlen die Fläche senkrecht treffen. Nach Cohn in Breslau genügen 50 Meterkerzen, um das Tageslicht zu ersetzen. 50 Meterkerzen gelten als größte, 25 als mittlere, 10 als geringste Beleuchtungsstärke. Für Straßenbeleuchtungen sollen die Hauptstraßen mit 2, die Nebenstraßen wenigstens mit 0·1 Meterkerzen beleuchtet sein. Befindet sich eine Lichtquelle im Abstande eines Meters von einer Schrift, so wird dieselbe mit einer bestimmten Helligkeit beleuchtet; bringt man nun, in demselben Abstande, soviel Normalkerzen an, bis die Schrift dieselbe Helligkeit wie früher zeigt, dann ist die Anzahl dieser Normalkerzen gleich der Anzahl der Meterkerzen, mit welcher die Schrift, beziehungsweise die Fläche, auf welcher sich dieselbe befindet, durch die Lichtquelle beleuchtet wird. Dieses Verfahren versinnlicht zugleich das Wesen der photometrischen Messmethoden.

[1]) Centralblatt für Elektrotechnik, Band VI. Seite 51.

43. Lichtstärke. Etwa drei Watt erzeugen durch eine Glühlampe eine Normalkerze. Für Bogenlicht rechnet man bis zu 6 Ampère für etwa 1 Ampère, 100 Normalkerzen. Eine Bogenlampe von 9 Ampère gibt rund 1200, eine solche zu 20 Ampère etwa 3000 Normalkerzen.

44. Die Wirtschaftlichkeit von Glüh- und Bogenlicht. Die Wirtschaftlichkeit einer Glühlampe

$$= \frac{\text{Stromstärke} \times \text{Spannung}}{\text{Normalkerzenzahl}}.$$

Beispiel: Wie groß ist die Wirtschaftlichkeit einer Glühlampe, wenn die Leuchtkraft derselben bei einer Spannung von 100 Volt und einer Stromstärke von 0·5 Ampère, 16 Normalkerzen beträgt?

$$\text{Wirtschaftlichkeit} = \frac{0{\cdot}5 \times 100}{16} = \frac{50}{16} = 3 \text{ Watt für 1 } NK.$$

Nach obiger Annahme verbraucht eine Bogenlampe für 100 Normalkerzen etwa 1 Ampère; dabei wurde die Spannung von 45 Volt vorausgesetzt. Bei Bogenlicht sind rund:

Für 100 *NK*: 1 Ampère × 45 Volt = 45 Volt-Ampère erforderlich, also

für 1 *NK*: $\frac{45}{100} = 0{\cdot}5$ Volt-Ampère oder Watt.

Bei Glühlicht erzeugen (§ 43) 3 Watt 1 *NK*. Es verhalten sich demnach die aufgewendeten Watt bei Glüh- und Bogenlicht wie 0·5 : 3 oder wie 1 : 6.

Diese Ausführungen zeigen, dass bei Glühlicht sechsmal soviel Watt für je eine Normalkerze verbraucht werden, als beim Bogenlicht. Für höhere Stromstärken fällt dieses Verhältnis für das Glühlicht noch ungünstiger aus.

45. Die wichtigsten Vor- und Nachtheile des Glühlichtes im Vergleiche zum Bogenlichte.

Die Nachtheile des Glühlichtes sind:

1. Das Glühlicht erfordert einen größeren Arbeitsverbrauch (§ 44).
2. Die Erhöhung der Temperatur bei derselben Kerzenzahl ist größer.
3. Die Wiedergabe der natürlichen Farben der Körper ist ausgeschlossen.
4. Zu Effektbeleuchtungen ist das Glühlicht weniger geeignet.

Zu den Vortheilen des Glühlichtes zählen:

1. Die Theilung des Lichtes ist eine vollständige. Das elektrische Licht kann in jeder beliebigen Stärke und Vertheilung abgegeben werden.

2. Vorzügliche Eignung zur Beleuchtung niedriger Räume.

3. Beleuchtungskörper für Gaslicht sind in der Regel für das Glühlicht verwendbar.

4. Die Lichtstärke der Glühlampen lässt sich durch Widerstände oder Änderung in der Tourenzahl der Dynamo beliebig regulieren.

5. Die Handhabung ist bequemer.

46. Die Vergleichung der beiden Gleichstromsysteme [1]) hintereinandergeschalteter Bogenlampen mit hoher und niederer Spannung.

I. Hohe Spannung.	II. Niedere Spannung.
1. Geringere Kuperkosten für denselben Spannungsverlust.	1. Höhere Kupferkosten für denselben Spannungsverlust.
2. Hoher Isolationswiderstand.	2. Geringer Isolationswiderstand.
3. Größere Gefahr im Betriebe.	3. Geringe Gefahr im Betriebe.
4. Die Farbe des Lichtes enthält mehr blaue und violette Strahlen.	4. Die Farbe des Lichtes ist weiß und angenehm für das Auge.
5. Die Lampen brennen ruhig.	5. Die Lampen zischen.

47. Das Nachglühen. Schickt man einen Strom in eine Glühlampengruppe und unmittelbar darauf, während die Lampen dieser Gruppe noch glühen, denselben Strom in eine zweite Glühlampengruppe und kehrt diesen Vorgang dauernd um, so kann man mit ein und demselben Strome gleichzeitig zwei Stromkreise beleuchten. Man nennt diese Erscheinung das N a c h g l ü h e n d e r G l ü h l a m p e n. Auf Grundlage dieser Erscheinung haben L e R o u x, T h o m a s A l v a E d i s o n, J o h a n n K a r l P ü r t h n e r und N o l l e n d o r f eigene Stromvertheilungssysteme erdacht. Bei diesem Systeme sind zwei Stromkreise mit Lampen vorhanden, welche derselbe Strom nicht gleichzeitig, sondern abwechselnd durchfließt; in dem Augenblicke nämlich, in welchem der Strom in der einen Lampengruppe unterbrochen wird, erfolgt die Schließung desselben in der anderen und umgekehrt. Der von der Dynamo ausgehende Strom erscheint auf diese Weise eigentlich nie unterbrochen, die beiden Zweigleitungen jedoch erhalten einen unterbrochenen (intermittierenden) Strom. Wenn in der Sekunde mindestens 40 Unterbrechungen und Schließungen erfolgen, so ist, wie die Erfahrung lehrt, das Licht gleichmäßig und es kann mit demselben Kraftaufwande eine größere Lampenzahl gespeist werden.

---

[1]) Fortschritte der Elektrotechnik, III. Jahrgang. Seite 44.

48. Die Vergleichung der Gleich- und Wechselstromsysteme.

I. Vortheile der Gleichstromsysteme.

1. Die Gleichstrommaschinen arbeiten äußerst wirtschaftlich und lassen sich beliebig schalten.

2. Die bei Gleichstrommaschinen verwendeten, niederen Spannungen bieten nur eine geringe Gefahr für Leben und Eigenthum.

3. Die Gleichstromlampen haben ein ausgezeichnetes Güteverhältnis, sie brennen ruhig und geräuschlos.

4. Die Gleichstrommotoren haben ein sehr hohes Güteverhältnis, ihre Geschwindigkeit lässt sich ebenso leicht dauernd konstant halten, als auch beliebig ändern.

5. Die elektrische Energie kann akkumuliert und zu elektrochemischen Zwecken benützt werden.

Diese Vorzüge der Gleichstromsysteme sind allgemein anerkannt.

II. Nachtheile der Gleichstromanlagen.

1. Die Centrale muss inmitten der Anlage liegen. Als nachtheilige Folgen davon werden angeführt:

a) Das Grundstück ist sehr theuer.

b) Der laute Gang der Pumpen und Ventile entwertet die Nachbargrundstücke.

c) Die Kohlen müssen an- und die Asche abgefahren werden, worunter der Straßenverkehr leidet und die Kosten zunehmen.

d) Es ist schwer, das genügende Kondensationswasser zu beschaffen; das verbrauchte hat keinen Abfluss.

e) Die Centrale belästigt die Nachbarschaft durch Rauch und Russ.

f) Die Aufstellung einer starken Kesselanlage, mitten in der Stadt, ist gefährlich.

2. Der Vertheilungsbezirk einer Gleichstromcentrale erscheint beschränkt, wenn man nicht ganz unverhältnismäßig theure Leitungen oder übergroße Verluste haben will.

3. Das Gleichstromsystem ist für wenig bebaute Bezirke zu kostspielig, eine Thatsache, die unbestritten dasteht.

III. Vortheile der Wechselstromsysteme mit Anwendung von Transformatoren.

1. Das Wechselstromsystem gestattet die Anwendung dünner Hauptleitungen; dies ist eine allgemein zugegebene Thatsache, welche besonders bei oberirdisch verlegten Leitungen zur Geltung kommt. Sind jedoch unterirdische Leitungen unvermeidlich, so wird dieser Vortheil dadurch beeinflusst, dass das Kupfer der Leitungen nur einen

geringen Theil der Gesammtkosten der Leitungen beansprucht, dass die Isolierung bei den Kabeln für Wechselstrom eine sehr sorgfältige und daher sehr theure sein muss und dass die Kosten der Ausrüstung und Verlegung der Kabel sich nicht proportional mit dem Kupferquerschnitte verändern.

2. Das Wechselstromsystem ermöglicht die Entfernung der Centrale aus dem Beleuchtungsgebiete in günstiger gelegene Orte. Ob diese Möglichkeit sich zweckmäßig zur Ausführung bringen lässt, d. h. ob die Vorzüge und wirtschaftlichen Vortheile der entfernten Lage die unzweifelhaft vorhandenen Mehrkosten in der Leitungsanlage und die größere Betriebsunsicherheit aufwiegen, bleibt zu erörtern.

3. Das Wechselstromsystem ermöglicht die Vertheilung elektrischer Energie auf wenig bebaute Bezirke, ein wohl noch von niemand bestrittener Vorzug des Wechselstromsystemes vor dem Gleichstromsystem.

4. Die Größe des Vertheilungsbezirkes ist nicht so enge beschränkt, wie bei Anwendung des Gleichstromes, da die Leitungen billiger sind. Sehr wichtig für diese Frage ist eine genaue Berechnung von Leitungsnetzen für verschiedene Systeme und Entfernungen, welche Oscar von Miller zusammengestellt hat. Aus den angegebenen Zahlen geht zunächst hervor, dass, selbst bei ziemlich großen Entfernungen, die Kosten des Kupfers, gegenüber den Ausgaben für Isolierung und Verlegung, viel weniger ins Gewicht fallen, als im allgemeinen angenommen zu werden pflegt, und dass infolgedessen die Kupferersparnis, welche bei der Verwendung hochgespannter Ströme erzielt wird, erst bei ziemlich großen Entfernungen wesentlich in Betracht kommt. Erst bei 2000 *m* Radius kommt hier eine Preisermäßigung der Leitung eines Transformatorensystemes, gegenüber dem Fünfleitersysteme, zur Geltung, wenn beide Mittelpunkte inmitten des Beleuchtungsgebietes liegen.

5. Das Wechselstromsystem ermöglicht zweckmäßiger die Benützung billiger Naturkräfte zu Beleuchtungszwecken, wenn diese in weiterer Entfernung von dem Beleuchtungsgebiet liegen.

6. Man kann auf Wunsch auch Glühlampen zu 50 Volt brennen lassen. Dieser Vortheil, niedriggespannte Glühlampen mit starkem Kohlenfaden benützen zu können, ist besonders von Mordey erwähnt worden. Die Lampen geben ein sehr gutes Licht und die dickeren Fäden brechen weniger leicht ab. Bei Gleichstrom wäre die Benützung solcher Lampen nur zu zweien hintereinander oder mit einem, den Strom der zweiten verzehrenden Widerstande möglich.

7. Wechselstrombogenlampen kann man auch einzeln ohne Energieverlust brennen lassen, auch brauchen dieselben eine geringere Spannung als Gleichstrombogenlampen.

IV. Als Nachtheile des Einphasen-Wechselstromsystemes mit Transformatoren werden angeführt:

1. Der Wechselstrom zwingt zur Benutzung hoher Spannungen in den Hauptleitungen.

2. Die Wechselstromdynamo haben ein geringeres Güteverhältnis als Gleichstromdynamo.

3. Die Umsetzung der Energie in den Transformatoren bringt einen erheblichen Verlust mit sich und erhöht die Unsicherheit und die Gefahren des Betriebes. Bei geringer Belastung ist das Güteverhältnis eines Transformators sehr gering.

4. Der Wechselstrom zerstört eher die Glühlampe als der Gleichstrom.

5. Die Wechselstrombogenlampen haben ein geringeres Güteverhältnis und sind im Innern vieler Gebäude, wegen ihres Geräusches, nicht benützbar.

6. Wechselstrommotoren arbeiten nicht für alle Zwecke vollkommen zuverlässig.

7. Die elektrische Energie lässt sich nicht akkumulieren und zu elektrochemischen Arbeiten benützen.

8. Der Wechselstrom lässt sich nicht so einfach messen, als der Gleichstrom.

Mehrphasendynamo und Motoren haben mindestens dasselbe Güteverhältnis wie Gleichstromdynamo und Motoren.

Mehrphasenmotoren arbeiten besser als Einphasenmotoren, sind aber nicht für alle Zwecke der Praxis so gut verwendbar als Gleichstrommotoren.

(Für Fahrzeuge werden zumeist Gleichstrommotoren verwendet, weil sie die mehrfache Leistung kurze Zeit hindurch zu geben vermögen.)

49. Neuere Glühlampen. Die gewöhnlichen Kohlenfadenglühlampen erfordern 3 bis 3·5 Watt für 1 *HK*. Seit zwei Jahrzehnten ist man bestrebt, diesen Wattverbrauch der Glühlampen herabzumindern. Es sind hauptsächtlich zwei Wege eingeschlagen worden:

1. Glühlampen mit Kohlenfäden. Bei Kohlenglühlampen zeigt es sich, dass die Lampen bei rund 1500° C. und 100 Volt rund 3·5 Watt für 1 *HK*, bei rund 1600° C. und 112 Volt rund 2·5 Watt für 1 *HK* verbrauchten. Bei der letzteren Temperatur erweist sich der Faden jedoch nicht mehr genügend widerstandsfähig; solche Lampen haben eine kurze Lebensdauer. Einen Fortschritt nach dieser Richtung bringt die Weißmann-Lampe.

2. Verwendung eines schwer schmelzbaren Metallfadens. Zunächst wurde von Grove Platin, in neuester Zeit von Auer von Welsbach Osmium verwendet.

3. Glühlampen mit Vorwärmern z. B. Glühlampen mit Kaolinstäbchen, welches durch Vorwärmung leitend gemacht wurde. Daher gehört die Lampe von Jablochkoff und in neuester Zeit die Lampe von Nernst.

Auf der Weltausstellung in Paris 1900 hatten wir Gelegenheit, die Weißmann-, Auer- und Nernst-Lampe in Thätigkeit zu sehen.

1. Glühlampe von Weißmann. Letzterer benutzt kurze, dicke Kohlenstäbe und will sogar Lampen von 2 bis 5 *HK* aus diesem Material herstellen. Die Lampen sind für 20 Volt bestimmt. Für höhere Spannungen müssen für einzelne Lampen oder für Gruppen von Lampen Transformatoren in Verwendung kommen. Die Hintereinanderschaltung mehrerer Lampen dürfte wohl der Umständlichkeit des Systemes halber nicht in Betracht kommen.

2. Die Osmiumglühlampe von Auer von Welsbach.[1]) Von allen Metallen hat das Osmium den höchsten Schmelzpunkt. Auer von Welsbach ist es gelungen, das Osmium, welches bisher nur als Pulver kleinkrystallinisch, schwammförmig oder nach Schmelzen im elektrischen Lichtbogen als sprödes, hartes, der Bearbeitung widerstehendes Metall bekannt war, in fadenförmigem Zustand zu erhalten. Ein solcher Faden stellt einen Leiter dar. Man kann daher eine Osmiumfadenlampe wie eine Kohlenfadenlampe ohne Hilfsvorrichtung zum Glühen bringen. Die Osmiumfadenlampe erlangt bei gleichem Stromverbrauch eine höhere Leuchtkraft als die Kohlenfadenlampe. Die Osmiumlampen verbrauchen für 1 *HK* 1·5 Watt und erreichen eine Lebensdauer von 700 bis 1200 Brennstunden. Bei einer solchen Lampe nahm die Leuchtkraft nach 1500 Brennstunden um 12% ab. Die Wirtschaftlichkeit betrug dabei anfangs 1·45 Watt für 1 *HK*, nach 1500 Brennstunden 1·7 Watt für 1 *HK*. Hat sich die Osmiumlampe mit der Benutzung gebräunt, so kann sie mit geringen Kosten, ohne Erneuerung des Fadens wieder gebrauchsfähig gemacht werden. Bisher wurden diese Lampen für 20 bis 50 Volt hergestellt. Die Betriebsspannung elektrischer Anlagen beträgt aber zumeist 100 bis 220 Volt. Es müssen demnach entweder mehrere solche Lampen hintereinander geschaltet oder es muss die Spannung transformiert werden, was bei Wechsel- und Drehstrom oder bei Gleichstrom mit Sammlerbetrieb leicht durchführbar erscheint. Wegen des geringen Energie-Verbrauches wird diese Lampe

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1901, S. 161.

zur Beleuchtung von Fahrzeugen, insbesondere Eisenbahnwaggons vorzüglich geeignet sein. Die Stromersparnis gegenüber den Kohlenfadenlampen beträgt 60%. Die Wärmeentwickelung ist bedeutend geringer. Die Osmiumlampen können für 2 bis 200 *HK* hergestellt werden.

3. Elektrolytglühlampe von Nernst,[1]) Fig. 71*a* bis 71*d*. Wird ein Stäbchen aus Osmiumoxyd, Magensiumoxyd, Calciumoxyd z. B. mittelst einer Spiritusflamme oder mittelst eines Platindrahtes bis zur Weißglut erhitzt, so kann ein elektrischer Strom hindurch geleitet werden. Die Lampe verbleibt dann weißglühend, wenn die Stromwärme dazu ausreicht, die nach Außen abgegebene Wärme zu ersetzen. Der Heizkörper ist unmittelbar unter dem Leuchtkörper angebracht und besteht aus einem kleinen Porzellancylinder mit einer größeren Anzahl von Platindrahtwindungen. Der Heizkörper bleibt auch nach der Entzündung des Glühfadens an derselben Stelle, wird jedoch ausgeschaltet, sobald der



Fig. 71*a*. Nernstlampe.



Fig. 71*b*. Ansicht.



Fig. 71*c*. Nernstlampe mit Brenner ohne Glocke und Gehänge.



Fig. 71*d*. Brenner.

Leuchtkörper genügend vorgewärmt erscheint. In Paris waren Lampen von 200 Volt mit 1·5 Wattverbrauch für 1 *HK* ausgestellt, Fig. 71*a*. Die

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1899, S. 355. E. Fodor, Elektrotechnischer Anzeiger 1899, S. 860. Zeitschrift für Elektrotechnik 1899, S. 198. Nernst, Elektrotechnischer Anzeiger 1900, Nr. 15, 33 und 59.

Lebensdauer dieser Lampen beträgt 300 Stunden bei nur gering abnehmender Leuchtkraft. Die Leuchtkörper lassen sich mit geringen Kosten durch neue ersetzen, wenngleich die Lampe höhere Anschaffungskosten bedingt, als gewöhnliche Glühlampen. Wie aus der Figur 71*a* ersichtlich ist, waren die Lampenbirnen unten offen. Der Faden erschien demnach von Luft umgeben, während sich die gewöhnlichen Kohlenfäden in einem luftverdünnten Raume befinden.

Die selbstthätige Anwärmevorrichtung befindet sich im Sockel der Lampe. Diese Lampen sind bereits in die Praxis eingeführt.

Die Nernstlampen werden von der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft hergestellt. D. R. P. Die neueste Form dieser Lampen zeigen die Fig. 71*b* bis 71*d*.

Die Vortheile, welche der Lampe einen hervorragenden Platz neben den bisher bekannten Lichtquellen sichern, sind schönes Licht bei Zulässigkeit hoher Spannungen und geringem Energieverbrauch; letzterer beträgt schon gegenwärtig pro Hefnerkerze (horizontal gemessen) nur rund 1·5 Watt.

Während die Bestrebungen zunächst auf Herstellung von Lampen mit 40 bis 80 Watt Energieverbrauch gerichtet waren, ist die obige Firma jetzt in der Lage, auch Lampen von 100 und 200 Watt (gegenwärtig rund 65, beziehungsweise 135 *HK*) herzustellen (Modell *A*) und weiteren Kreisen zugänglich zu machen. Lampen von 40 und 80 Watt (gegenwärtig rund 25, beziehungsweise 50 *HK*, Modell *B*) bleiben wie bisher einstweilen auf mietweise Herausgabe in Berlin beschränkt.

Die Lampe Modell *A* bietet eine der Elektricität bisher fehlende Lichtquelle von mittlerer Intensität, insbesondere auch als Ersatz für Gruppen von Glühlampen. Sie besteht im Wesentlichen aus dem Brenner mit seinem Träger (der eigentlichen Lampe), dem Gehänge mit der Lampenglocke und dem Vorschaltwiderstande; letzterer ist von langer Dauer und bei etwaiger Zerstörung leicht zu ersetzen. Gegenstand des Verbrauches ist der Brenner, Fig. 71*d*, dessen Benutzungsdauer im Durchschnitt mehr als 300 Brennstunden beträgt; seine Auswechselung erfordert geringe Geschicklichkeit und eine Beschädigung desselben findet nicht statt, wenn die Hantierungen ausschließlich an der mit ihm verbundenen Porzellanscheibe erfolgen. Nach Lockerung der Schraube *s* kann man letztere sammt dem Brenner aus dem Träger herausziehen. Beim Aufsetzen eines neuen Brenners ist die Verwechselung der verschiedenen Leitungen dadurch ausgeschlossen, dass das Röhrchen *a* mit dem Draht a_1, der Draht *b* mit dem Röhrchen b_1 nur zusammenpasst. Damit die Schraube *s* den

innigen Kontakt der Stäbchen c und c_1 herstellt und ein Herausfallen des Brenners aus der Lampe verhindert, muss sie bei jedesmaligem Einsetzen eines Brenners wieder angezogen werden. Bei Bestellung ist anzugeben, ob Gleich- oder Wechselstrom vorhanden ist.

Preise der Nernstlampen.

Modell *A*.

Zu	100 Watt	(gegenwärtig gleich	65 *HK*)	für	110 Volt	M. 12.50		komplet m. einfacher Glocke
„	100 „	„	„ 65 „	„	220 „	„ 12.50		
„	200 „	„	„ 135 „	„	220 „	„ 14.50		

Ersatzbrenner für obige drei Typen pro Stück 2 M.

V. Kapitel.

Hilfsapparate.

50. Sicherungen. Die Sicherungen bestehen aus Staniolblättchen, Blei-, Kupfer- und anderen Drähten und Streifen und haben den Zweck, durch Abschmelzen den Stromkreis, in welchem sie eingeschaltet sind, zu unterbrechen, wenn die Temperatur des Leiters eine gewisse Grenze überschritten hat. Eine elektrische Anlage mit gut bemessenen, und an den richtigen Orten angebrachten Sicherungen schützt vollkommen gegen, infolge zu hoher Stromstärken mögliche Feuersgefahr.

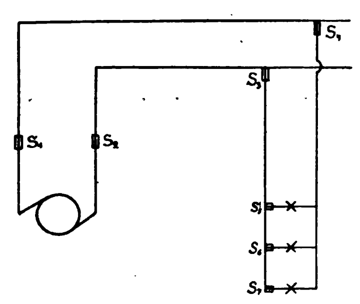


Fig. 72. Richtig gesichert.

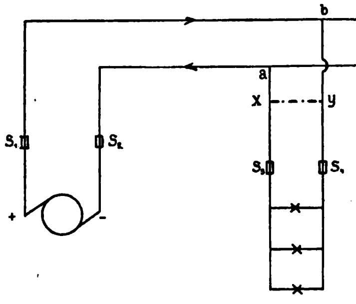


Fig. 73. Falsch gesichert.
ax und *by* schmelzen ab.

Sicherungen werden überall dort angebracht, wo Leitungen abzweigen und wo die Leitung ihren Querschnitt ändert.

Diese Regel stellt folgende Anforderungen:

1. Die Sicherungen sind nicht nur in dem zu schützenden Stromkreise, sondern auch direkt an dem Orte der Abzweigung, beziehungsw.

Querschnittsänderung anzubringen; diese zweckentsprechende Anordnung der Sicherungen zeigt Fig. 72, in welcher die Sicherungen mit S_1, S_2, S_3 u. s. w. bezeichnet erscheinen. S_1 und S_2 sind in unmittelbarer Nähe der Bürsten der Maschine angebracht.

Werden die Sicherungen, wie z. B. in Fig. 73 bei S_3 und S_4, angebracht und es entsteht zwischen X und Y ein metallischer Schluss, so ist der Stromkreis der Lampen, welcher bei a und b abzweigt, zwischen X und Y kurzgeschlossen, der Strom fließt nicht mehr durch die Lampen, sondern von der Maschine nach b, Y, X, a zur Maschine zurück. Die Leitungen zwischen a und X sowie zwischen b und Y werden sich sehr stark erwärmen oder abschmelzen. Bei kleineren Anlagen verhindern die, mit diesem Abschmelzen verbundene Feuersgefahr häufig die Sicherungen S_1 und S_2 an der Dynamo.

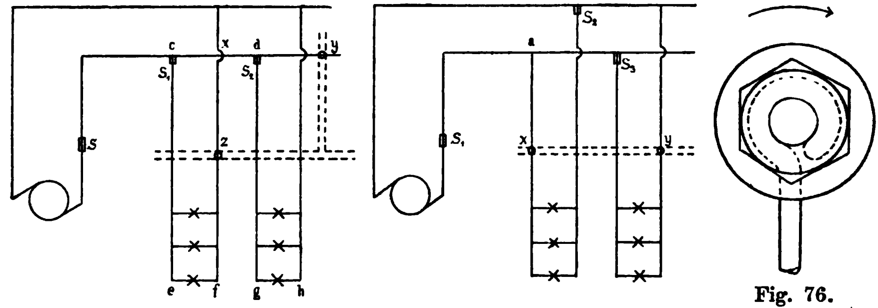


Fig. 74. Falsch gesichert. aZ schmilzt ab.

Fig. 75. Falsch gesichert. ax und by schmelzen ab.

Fig. 76. Verschrauben von Drähten.

2. Die Sicherungen müssen in b e i d e n Leitungen, wie in Fig. 72, angebracht sein.

In Fig. 74 ist nur je eine Leitung geschützt. Entsteht in diesem Falle z. B. zwischen Z und Y oder bei X ein Schluss, so ist die Leitung, zwischen a und Z oder a und X, in Gefahr.

Die Gefahr des Abschmelzens der Leitungen wird noch größer, wenn die Sicherungen nicht in derselben Leitung, sondern die eine in der positiven, die andere in der negativen u. s. w. Leitung angebracht ist, wie es Fig. 75 zeigt.

In diesem Falle kann, außer dem Schlusse in der letzten Figur, zwischen den Zweigleitungen bei X und Y kurzer Schluss entstehen und die Leitung zwischen a und X sowie Y und b abschmelzen. Entsteht in Fig. 74 zwischen den Zweigleitungen $a\,f\,e\,c$ und $b\,h\,g\,d$ Schluss, so ist entweder S_1 oder S_2 eingeschaltet und schmilzt ab.

Wo thunlich sind die Sicherungen leicht zugänglich anzubringen und insbesondere in feuchten Räumen äußerst sorgfältig zu isolieren. An feuergefährlichen Orten muss man eigens konstruierte Sicherungen anbringen, die das Herausfallen des abgeschmolzenen Metalles verhindern. In Räumen, in denen sich leicht entzündliche Gase befinden, dürfen Sicherungen nicht aufmontiert werden.

Der Anschluss der Sicherungen an die Leitung erfolgt durch Verschraubung, Ösen, Muffen u. s. w. Die Ösen sind, wie bei sämmtlichen Anschlüssen, so zu legen, dass das Ende der Öse nach der Drehungsrichtung der Schraube zeigt, wie es in Fig. 76 abgebildet ist. Das Material, welches den Abschmelzdraht umgibt, soll feuerbeständig, jeder Kontakt metallisch rein und vollkommen sein. Die Beanspruchung des Materiales der Sicherungen für 1 *mm*² ist insbesondere bei Bleisicherungen sehr verschieden, da sich der Schmelzpunkt der verschiedenen Fabrikate innerhalb weiter Grenzen ändert.

Die Manipulation beim Erneuern der Sicherung muss einfach sein und kann dadurch erfolgen, dass man entweder den Stromkreis der Sicherung ausschaltet oder durch einen Nebenschluss, welcher gegen dieselbe Stromstärke schützt, schließt.

Die wichtigste, beim Einsetzen einer Sicherung während des Betriebes zu beachtende Regel lautet:

Die Sicherung darf unter keinen Umständen durch eine stärkere Sicherung ersetzt werden, als es der Querschnitt der zu schützenden Leitung zulässt.

Nur zu häufig kommt es vor, dass man sich vor dem Abschmelzen der Sicherungen dadurch zu helfen sucht, indem man dieselben durch solche von größerem Querschnitte ersetzt und so die Leitungen, die Maschine und die ganze Anlage in Gefahr bringt.

Zusammengehörige Werte von Durchmessern und Querschnitten von Kupferdrähten, zulässigen Betriebsstromstärken, Durchmessern, Querschnitten und Längen von Bleidrähten gibt die rechtsseitige, von mir nach zahlreichen Versuchen zusammengestellte Tabelle; je nachdem die maximale Stromstärke in einer Leitung 1, 125 oder 820 Ampère beträgt, werden nach dieser Tabelle Staniole, Bleidrähte oder Bleistreifen verwendet.

Nach der, in rechtsseitiger Tabelle angenommenen Beanspruchung beträgt die Erwärmung der Drähte rund 20° *C*. Für die Bemessung der Bleisicherungen sind die, in dieser Tabelle angegebenen Stromstärken maßgebend. Für die Stromstärke von 70 Ampère z. B. gibt die Tabelle als Bleisicherung einen 3 *mm* Bleidraht (7 *mm*² Querschnitt) von 50 *mm* Länge an.

Drahttabelle.

Durchmesser des Kupferdrahtes in *mm*	Querschnitt des Kupfers in mm^2	Höchste zulässige Betriebsstromstärke in Ampère	Durchmesser des Bleidrahtes in *mm*	Querschnitt des Bleies in mm^2	Länge des Bleidrahtes in *mm*
0·2	0·0314	0·5	1 × 0·02	0·02	20
0·5	0·1964	1·0	2 × 0·02	0·04	20
0·6	0·2827	2·0	0·3	0·07	20
0·7	0·3848	3·0	0·4	0·12	20
0·8	0·5026	4·0	0·5	0·19	20
1·0	0·7854	5·5	0·6	0·3	20
1·2	1·1310	7·5	1·0	0·78	20
1·5	1·7671	11·5	1·2	1·25	30
2·0	3·1416	17·0	1·5	1·77	30
2·5	4·9087	28·0	1·8	2·54	30
3·0	7·0686	35·0	2·0	3·14	30
3·5	9·6211	45·0	2·3	4·19	40
4·0	12·566	56·0	2·5	4·9	40
4·5	15·904	70·0	3·0	7·0	50
5·0	19·635	85·0	3·5	9·6	50
5·5	23·758	90·0	4·0	12·5	50
6·0	28·274	103·0	4·3	14·0	50
6·1	29·225	110·0	4·5	15·9	50
6·3	31·172	118·0	4·7	17·5	50
6·6	34·212	125·0	5·0	19·6	60
7·0	38·485	140·0	2 × 11	22·0	60
7·4	43·008	150·0	2 × 13	26·0	60
7·6	45·365	160·0	2 × 14	28·0	60
7·9	49·017	166·0	2 × 15	30·0	60
8·3	54·106	180·0	2 × 16	32·0	60
8·4	55·418	183·0	2 × 17	33·0	60
8·8	60·821	192·0	2 × 17	34·0	70
9·1	65·039	205·0	2 × 18	36·0	70
9·8	76·430	225·0	3 × 14	42·0	70
10·5	86·590	250·0	3 × 16	48·0	70
11·2	98·520	275·0	3 × 18	54·0	70
11·9	111·220	295·0	3 × 20	60·0	80
12·5	122·718	322·0	4 × 18	72·0	80
13·3	138·929	350·0	5 × 15	75·0	80
14·0	153·938	378·0	5 × 17	85·0	80
15·0	176·715	412·0	5 × 18	90·0	80
16·0	201·06	450·0	5 × 20	100·0	80
18·0	254·47	520·0	5 × 26	130·0	80
19·5	298·65	590·0	5 × 30	150·0	90
21·0	346·36	645·0	6 × 29	174·0	90
22·5	397·61	710·0	8 × 25	200·0	90
24·0	452·39	760·0	8 × 29	232·0	90
25·0	490·87	820·0	8 × 33	264·0	90

Die Ursachen des Abschmelzens der Sicherungen sind:

1. Zu hohe Beanspruchung des zu schützenden Drahtes durch Schluss in seiner Leitung. In diesem Falle ist der betreffende Stromkreis auszuschalten, die Leitung an den Abzweigepunkten von der nächststärkeren Leitung zu trennen und auf Isolation zu prüfen. Erst wenn die Isolation vollkommen entspricht, darf der Anschluss wieder vorgenommen werden. Der metallische Schluss zwischen Leitungen erfolgt häufig durch Gas- und Wasserleitungsröhren, Beleuchtungskörper Einschlagen von Nägeln und Haken und schlechte Isolation der Drahtkreuzungsstellen.

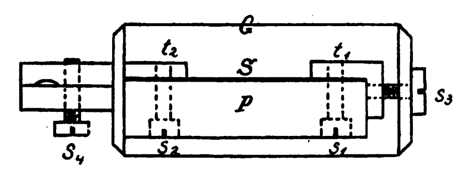


Fig. 77. Staniolsicherung.

2. Zu starke Beanspruchung der Leitung durch zu hohe Stromstärken; dann ist in der Regel die Maschinenspannung zu hoch oder es sind, z. B. in Bogenlichtanlagen, die Vorschaltwiderstände zu klein.

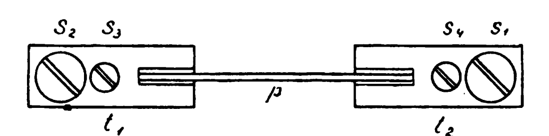


Fig. 78. Staniolsicherung. Draufsicht.

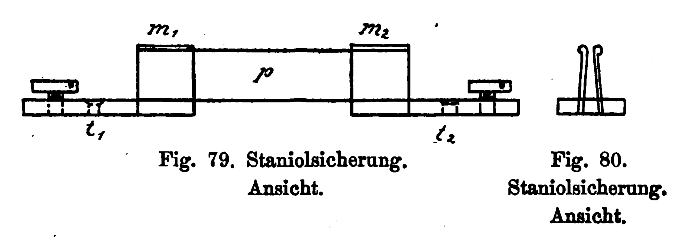


Fig. 79. Staniolsicherung. Ansicht.

Fig. 80. Staniolsicherung. Ansicht.

3. Die unrichtige Bemessung der Sicherungen. Für die richtige Bemessung der Leitungen sind die von einzelnen Firmen mit den Sicherungen angestellten Schmelzversuche maßgebend.

Einfache und leicht auswechselbare Sicherungen sind in den Fig. 77 bis 86 in Egger- und Edison-Sicherungen dargestellt.

Fig. 77 zeigt eine Staniolsicherung für ein oder zwei Glühlampen, je nachdem der Querschnitt des Staniolstreifens $1 \times 0{\cdot}02$ oder

$2 \times 0{\cdot}02$ *mm* beträgt. Der Staniolstreifen S liegt auf dem Schieferstücke P und wird durch die Schraube s_1 und das Messingstück t_1 einerseits, und durch die Schraube s_2 und das Messingstück t_2 andererseits festgehalten. Die Schrauben s_3 und s_4 dienen zum Anschlusse der Sicherung an dem Orte der Querschnittsänderung der Leitung. Die Sicherung ist von der Glashülse G eingeschlossen.

Die in den Fig. 78 bis 80 gezeichnete Sicherung besteht aus den Messingstücken t_1 und t_2, welche bei m_1 und m_2 Fassungen besitzen. In die Fassungen, deren Querschnitt Fig. 80 zeigt, wird ein Pressspan mit einem Staniolstreifen p eingesteckt. Das Auswechseln des Stanioles geschieht durch einfaches Herausnehmen und Einstecken des Pressspahnes mit dem Staniol aus und in die Fassungen m_1 und m_2.

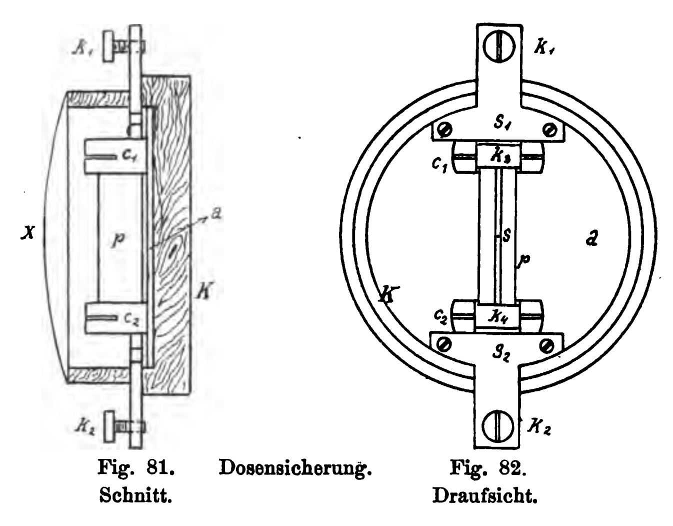


Fig. 81. Schnitt. Dosensicherung. Fig. 82. Draufsicht.

Durch die Schrauben s_3 und s_4 wird die Sicherung isoliert aufgeschraubt und durch die Schrauben s_1 und s_2, an dem Orte der Querschnittsänderung, eingeschaltet.

In der Dosensicherung der Vereinigten Elektricitäts-Aktiengesellschaft in Wien Fig. 81 und 82 erfolgt der Anschluss an die Leitung durch die Klemmschrauben K_1 und K_2. Der Hauptbestandtheil der Sicherung ist eine einsteckbare Patrone p, auf welcher das Staniol s durch die Kappen K_3 und K_4 und die Schrauben s_1 und s_2 zu befestigen ist. Durch Einschieben der Patrone, zwischen die federnden Kontakte c_1 und c_2, wird die Leitung gesichert. Das Holz- (jetzt Schiefer-) Gehäuse K war durch ein unterhalb der Patrone angebrachtes Asbestpapier a gegen Verbrennen geschützt. Die Befestigung des Deckels X auf dem Holzgehäuse K besorgen zwei Holzschrauben.

Eine insbesondere für Schaltbretter praktisch verwendbare Sicherung ist in Fig. 83 in der Vorderansicht, in Fig. 84 in der Seitenansicht, theilweise im Schnitte, theilweise in der Außenansicht dargestellt.

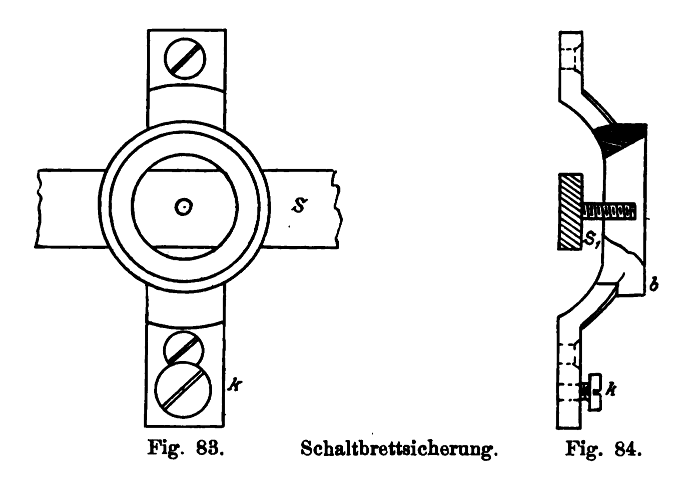
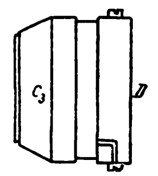
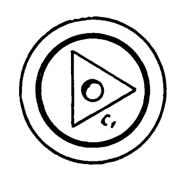
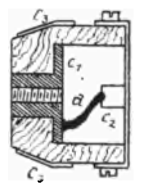


Fig. 83. Schaltbrettsicherung. Fig. 84.

In dem Stöpsel derselben, Fig. 85 bis 88, ist der Abschmelzdraht *a* zwischen den Kontakten c_1 und c_2 c_3 angebracht. Der Kontakt c_1 besteht aus einem mit Muttergewinde versehenen, in der Fig. 86 dreikantig dargestellten, in Porzellan gefassten Messingstücke, der Kontakt c_2 c_3 aus der konischen Kupferhülse c_3, welche in den konisch ausgehöhlten Bügel *b*







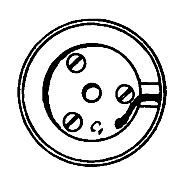


Fig. 85. Sicherungsstöpsel. Fig. 86. Fig. 87. Sicherungsstöpsel. Fig. 88.

dicht einpasst. Der Bleidraht *a* ist an c_1 und c_2 angelöthet und von c_1 nach c_2 in Gips geführt. Den Verschluss des Stöpsels bildet der, mit Bajonettverschluss versehene Messingdeckel *D*. Der Strom fließt, bei eingeschalteter Sicherung, von der Leitungsschiene *S*, durch die Schraube und den Kontakt c_1, durch das Blei, zu dem Kontakte c_2 c_3, in den Bügel *b* und dessen Klemmschraube *k* in die äußere Leitung.

Fig. 89 gibt das Bild einer zweipoligen (bipolaren) Sicherung wieder. Die Klemmen k_1 und k_2 sind in die eine, die Klemmen k_3 und k_4 in die andere Leitung eingeschaltet. Die Sicherungen befinden sich in den, oben in den Fig. 85 bis 88 beschriebenen Stöpseln S_1 und S_2.

Eine, beide Pole einer Abzweigung l_1 l_2 schützende Sicherung zeigt Fig. 90; in derselben führt der Stromweg von der Hauptleitung L_2, durch die konische Kupferhülse c_1, das Messingstück m, die Schraube s_1 zur Leitung l_2 und von der Leitung L_1, durch die Sicherung S_1, in die in der Zeichnung punktierte, in einer, mit Paraffin getränkten Nut am Boden der Porzellanunterlage H befindliche Leitung l_3, zur Schraube s_2 und Leitung l_1.

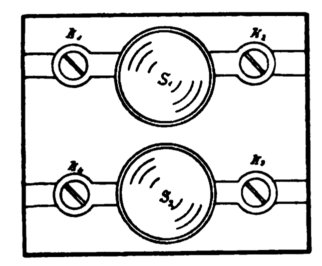


Fig. 89. Sicherung.

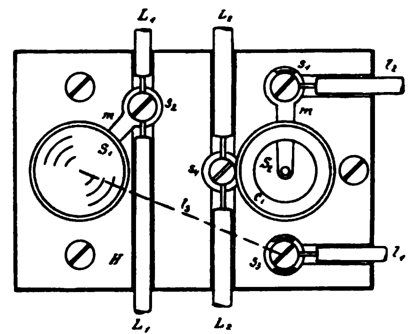


Fig. 90. Zweipolige Sicherung.

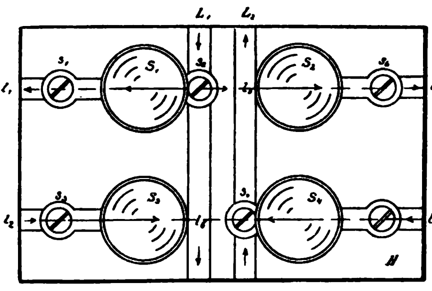


Fig. 91. Zweipolige Sicherung. Doppelte Abzweigung.

Eine doppelte Abzweigung mit zweipoligen (bipolaren) Sicherungen ist in Fig. 91 dargestellt. Der Stromverlauf dieser Sicherung ist aus den Pfeilen in der Figur ersichtlich. Die Stöpsel S_1 und S_3 gehören der einen, die Stöpsel S_2 und S_4 der anderen Abzweigung an. Bezüglich ihrer Beschreibung sei ebenfalls auf Fig. 91 verwiesen.

Die Sicherung der Hauptleitungen und Leitungen für hohe Stromstärken besorgt zweckentsprechend der Blei- oder Kupferschutz Fig. 92 In die Muttergewinde der Messingklötzchen k_1 und k_2 sind die Leitungsschrauben S_1 und S_2 eingeschraubt. Um große Querschnittsverminderungen der Sicherung, durch den Druck der Schrauben an der Einklemmstelle derselben, bei S_3 und S_4 zu verhindern, sind dieselben durch die Unterlagsscheiben S_5 und S_6 ge-

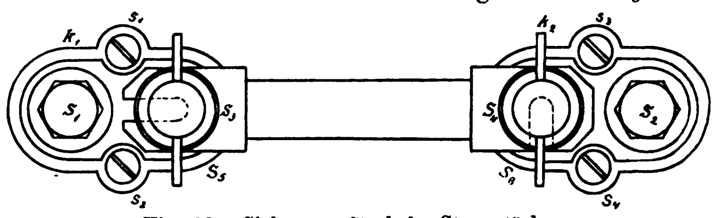


Fig. 92. Sicherung für hohe Stromstärken.

schützt. Die Messingklötzchen werden entweder auf dem Schaltbrette oder Polbrette der Maschine durch die Schrauben s_1, s_2, s_3 und s_4 aufmontiert. Unterhalb der Sicherung befindet sich eine Lage Asbest. Diese Sicherungen sind häufig mit einem, behufs Lüftung mit Öffnungen versehenen Metallgehäuse umgeben.

Bleisicherungen von Siemens & Halske A.-G.

Walzblech 1 *mm* dick. 6 Ampère für 1 *mm*². Maße in *mm*.

Ampère	Streifen-		Ampère	Streifen-	
	Breite	Länge		Breite	Länge
6	1·0	45	84	14	65
9	1·5	45	90	15	65
12	2·0	45	96	16	65
15	2·5	45	102	17	65
18	3·0	45	108	18	65
21	3·5	45	114	19	65
24	4·0	45	120	20	65
27	4·5	45	130	2 × 11	65
30	5·0	45	140	2 × 12	65
33	5·5	45	150	2 × 13	80
36	6·0	45	160	2 × 14	80
39	6·5	45	170	2 × 14·5	80
42	7·0	45	180	3 × 10	80
45	7·5	65	190	3 × 11	80
48	8·0	65	200	3 × 11·5	80
51	8·5	65	210	3 × 12	80
54	9·0	65	220	3 × 12·5	80
57	9·5	65	230	3 × 13	80
60	10	65	240	3 × 13·5	80
66	11	65	250	3 × 14	80
72	12	65	260	3 × 14·5	80
78	13	65	270	3 × 15	80

Die Bleidrähte der allgemeinen Elektricitätsgesellschaft in Berlin bestehen aus einer Legierung von 3 Theilen Blei und 2 Theilen Zinn.

Die Fabrik elektrischer Apparate A.-G. in Aarburg in der Schweiz (Lehmann & Co, Wien) verwendet von 2 bis 20 Ampère Dosensicherungen, die entweder mit Blech- oder Porzellandeckeln abgeschlossen werden. Die Patronen sind nach verschiedenen Durchmessern abgestuft, so dass ein Verwechseln derselben ausgeschlossen erscheint. Recht zweckentsprechender Weise sind auf den Deckeln und Patronen nicht nur Stromstärke und Querschnitt, sondern auch Spannung verzeichnet. Das Durchschmelzen des Drahtes ist von außen erkennbar. Für Stromstärken über 20 Ampère verwendet diese Firma Streifen-

sicherungen, Fig. 93, mit oder ohne Schutzkappe. Behufs Unverwechselbarkeit sind die Anschlussklötze der Streifen hinsichtlich Weite der Schlitze und Dicke verschieden, und können nur unter die ihnen genau entsprechenden Schrauben der Sicherungen geklemmt werden.

(D. R. G. M. 55618 von A. Ritterhausen, preisgekrönt vom Verbande Deutscher Elektrotechniker.)



Fig. 93. Streifensicherung.

Um auch eine absichtliche Verwechslung nach Möglichkeit zu verhindern, sind die Befestigungsschrauben der Anschlussklötze unter Siegel in die Platte versenkt.

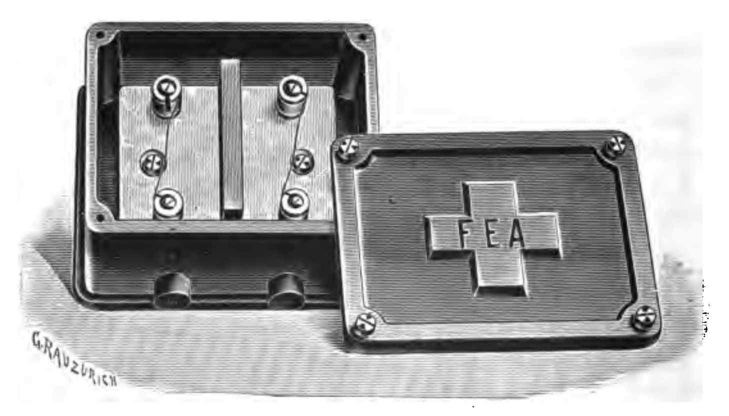


Fig. 94. Hausanschlussicherung.

Fig. 94 zeigt eine Hausanschlussicherung der eben genannten Fabrik. Die Kabelanschlüsse und die Sicherungen sind räumlich getrennt, so dass erstere vollständig unter Isoliermasse gelegt werden können. Der Abschluss gegen Feuchtigkeit ist dadurch ein vollkommener. Diese Firma baut auch Hausanschlusskasten, bei welchen das Öffnen des Deckels die Leitung unterbricht. Die Sicherungen sind demnach beim Auswechseln stromlos.

Sicherungen der Siemens & Halske A.-G. Fig. 95 bis 109.

1. Einpolige Sicherungen für Ströme bis 40 Ampère und Spannungen bis maximal 170 Volt für Hausinstallationen, Fig. 95 für 2·5 Ampère, Fig. 96 für 5 bis 40 Ampère. Die Sicherung Fig. 95 besitzt einen Porzellanuntertheil mit zwei Kontakten und einem Bolzen, welcher aus der Mitte hervorragt. Die Sicherung befindet sich auf einer schellackirten Presspanscheibe. Die eigentliche Bleisicherung liegt auf der einen Seite der Scheibe, während ihre Enden an zwei Stellen durchgeführt und verbreitert sind und beim Zusammensetzen der Sicherung auf die zwei Kontakte gepresst werden. Auf die Presspanscheibe kommt eine Porzellanscheibe. Die genannten Theile werden durch den Bolzen und eine Schraube sammt Deckel verschraubt. Der Abschluss der Sicherung nach außen erfolgt durch den in der Figur 95 ersichtlichen Gummiring. Die Sicherung, Fig 96 besteht ebenfalls aus einem Porzellanuntertheil mit zwei Kontakten. In dem Porzellanobertheil be-

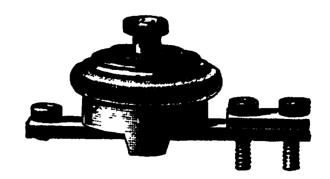


Fig. 95.
Einpolige Sicherung für 2·5 Ampère.

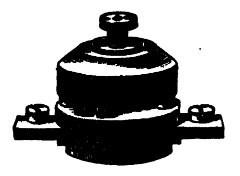


Fig. 96.
Einpolige Sicherung für 5 bis 40 Ampère.

findet sich das Blei in Gips eingebettet. Die Enden des Bleies ragen aus dem Obertheil heraus und werden auf die Kontakte des Untertheiles aufgesetzt. Aus dem Untertheil tritt ein Stift hervor, über diesen wird der Obertheil geschoben, auf den letzteren ein Messingblech gelegt und Obertheil sammt Blech mittelst der am obersten Theil ersichtlichen Schraube verschraubt. Der Stift ist so geformt, dass man nie eine stärkere Sicherung (Obertheil) aufsetzen kann, als es die auf dem Untertheil verzeichnete Nummer der Sicherung gestattet. Nr. 1 ist für 5 Ampère, Nr. 2 für 10 Ampère, Nr. 3 für 15 Ampère u. s. w.

2. Einzelsicherungen für Ströme bis 30 Ampère und Spannungen bis 250 Volt, für trockene Räume,[1]) Fig. 97 bis 107. Die Schmelzdrähte aus genügend langem Blei, Fig. 97 bis 99, werden in zwei parallel geschalteten Zweigen durch zickzackförmige Kanäle, welche mit radial nach außen gerichteten Auspufföffnungen versehen sind, derartig hin- und hergeführt, dass der Kurzschlusslichtbogen an sechs Stellen des Schmelzdrahtes, welche in zwei Gruppen zu je drei hintereinander

[1]) Siehe auch R. Hundhausen, Elektrotechnische Zeitschrift 1898, S. 571.

geschaltet sind, auftreten kann. Dabei entweichen die entstehenden Metalldämpfe, in sechs kleinere Mengen vertheilt, durch die sechs schießschartenartigen Auspufföffnungen leicht nach außen. Diese sind, an jedem Längskanal eine, mitten zwischen den Elektroden angeordnet, welch' letztere durch übergreifende Ränder aus Porzellan gegen den Zutritt der Metalldämpfe geschützt werden. Um letzteren auch den Weg zu den übrigen stromführenden Theilen der Sicherung zu verwehren, sind besondere Schutzblätter aus imprägnierter Papiermasse vorgesehen, wofern nicht durch die räumliche Anordnung der Vertheilungsschienen und Anschlussklemmen schon ohnedies die Gefahr eines Überspringens des Lichtbogens ausgeschlossen ist. Das Material des Umhüllungskörpers besteht aus Cement. Letzterer ist sowie Gips feuerbeständig und widersteht länger andauernder Erhitzung durch den Abschmelzdraht. Was nun die Forderung der Vorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker betrifft, die Sicherungen bis zu 20 Ampère Normalstromstärke derart zu konstruieren, dass bei ihnen

Sicherungspatrone mit hin- und hergeführten Schmelzdrähten.

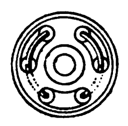


Fig. 97.
Endansicht.

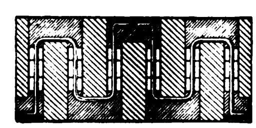


Fig. 98.
Schem. Abwickelung.

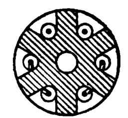


Fig. 99.
Mittelschnitt.

eine irrthümliche Verwendung zu starker Schmelzeinsätze ausgeschlossen sei, so ist dieselbe dadurch erfüllt, dass die Tiefe der Brücken, d. h. der axiale Abstand zwischen Oberkante Außenkontakt und Oberkante Mittelkontakt für schwächere Sicherungen größer und für stärkere Sicherungen kleiner zu machen sei, so dass also der kürzere Stöpsel für eine größere Stromstärke, in die tiefere Brücke für eine kleinere Stromstärke eingeschraubt, keinen Stromschluss bewirken könnte. Hierbei wurde, um die Gesammthöhe der Sicherungen möglichst klein zu erhalten, der Abstand zwischen den einzelnen Stufen auf 5 *mm* festgesetzt. Die ganze Länge der Patronen von 35 *mm* wurde zur Unterscheidung der sieben verschiedenen Stufen benutzt, so dass auf jede Stufe 5 *mm* kommen, Fig. 100 und 101. Diese verschieden hohen Ansätze werden nun einerseits am Gestellkörper durch Aufschrauben von einer oder mehreren (bis zu 7) Stellmuttern gebildet, während sie andererseits in der mittleren Durchbohrung des Patronenkörpers durch verschieden tiefe Aussparungen hergestellt werden. Die Patronenkörper sind also

im Übrigen völlig gleich und reichen, auch wenn sie in den festen Theil der Sicherung eingesetzt sind, nicht verschieden weit aus demselben hervor.

3. Patronensicherungen für Spannungen bis 500 Volt, Fig. 102, Einzelsicherungen zunächst für 2 Ampère. Da das Blei bei dieser Spannung und bei Kurzschluss zu viel Metalldampf entwickelt, wurde

Sicherungspatronen.

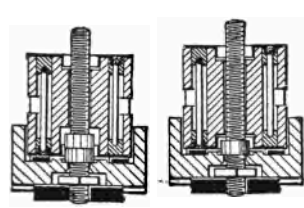


Fig. 100. 20 Ampère, 6 mm^2, 2 Stellmuttern. **Fig. 101.** 30 Ampère, 10 mm^2, 1 Stellmutter.

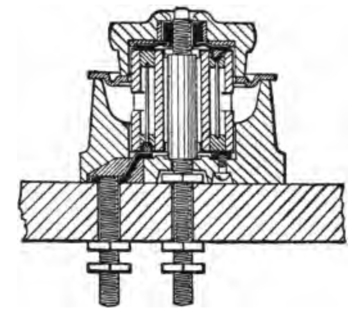


Fig. 102. Einpolige Einzelsicherung.

es von dieser Firma zuerst durch Silber und neuerdings durch geeigneteres Metall ersetzt. Diese Sicherung ist für Marmorschalttafeln bestimmt. Die Fig. 103 bis 105 geben eine ähnliche Sicherung (Straßenbahnsicherung) auf Porzellansockel wieder. Fig. 103 zeigt den Sockel,



Fig. 103. Sockel für Einzelsicherung.



Fig. 104. Einzelsicherung mit Schutzblatt, ohne Schutzkappe.



Fig. 105. Einzelsicherung mit Schutzkappe.

Fig. 104 die fertige Sicherung. Der schwarz angelegte Theil der Figur stellt ein Schutzblatt aus imprägnierter Papiermasse dar, welches die metallenen Zuführungen abdeckt. Beim Durchbrennen kann demnach der aus den Auspufflöchern strömende glühende Dampf keinerlei Metalltheile erreichen. Auf dem Porzellankasten ist der Höchstbetrag der Spannung verzeichnet; derselbe beträgt bei diesen Patronen 250 Volt.

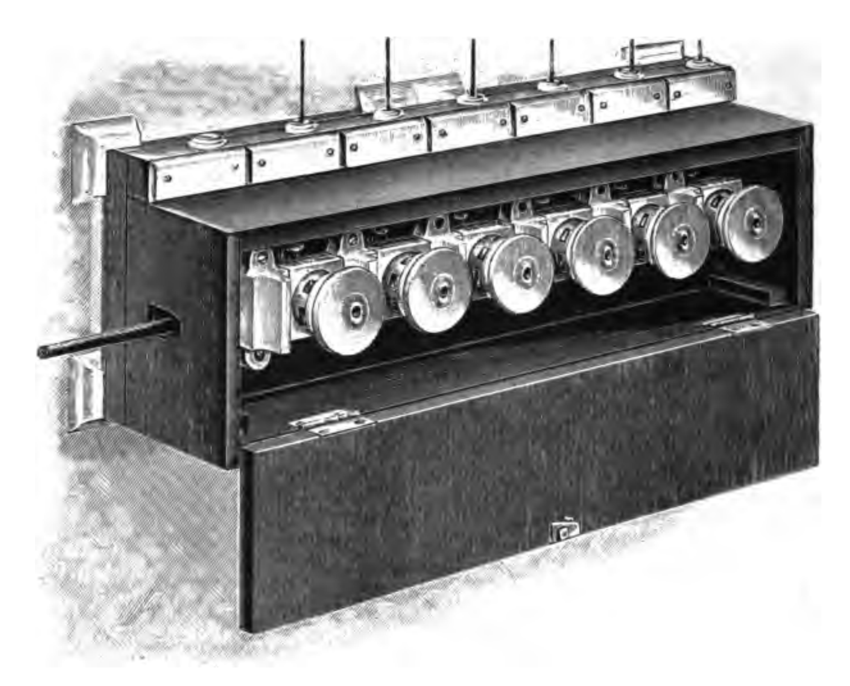


Fig. 106. Einpolige Vertheilungssicherung.

Zur Überdeckung des Apparates dient eine Schutzkapsel aus Papiermache, Fig. 105; aus derselben ragt die Porzellankappe so hervor, dass man sie abschrauben und die Patrone auswechseln kann. Für feuchte Räume benützt diese Firma eine besondere Konstruktion.



Fig. 107. Sicherungselement.

Ein- und zweipolige Vertheilungssicherungen werden für 2, 3, 4 .... 10 Abzweigkreise, entweder fertig zusammengesetzt oder in einzelnen Theilen geliefert. Fig. 106 zeigt eine einpolige Vertheilungssicherung sammt Schutzkasten für sechs Abzweigkreise. Das Grundbrett ist durch profilierte Porzellanfüße von der Wand isoliert. Zum Anbau an bereits vorhandene zweipolige Vertheilungssicherungen werden Zusatzsicherungen für 3, 4, 5 .... 11 Abzweigkreise angefertigt. Auch für Dreileiter- und Fünfleiteranlagen finden diese Vertheilungssicherungen Verwendung. Fig. 107 veranschaulicht ein Sicherungselement, einen Bestandtheil der Fig. 106.

4. Hochspannungssicherungen von Siemens & Halske A.-G., Fig. 108 und 109. Der wesentliche Vorzug dieser neuen

Sicherungen[1]) gegenüber älteren Konstruktionen besteht darin, dass eine Zertrümmerung der ganzen Schmelzeinsätze, wie sie insbesondere bei Kurzschlüssen fast immer eintrat, ausgeschlossen ist. Der Ersatz beschränkt sich daher bei letzteren auf die Schmelzdrähte allein. Die Schmelzdrähte lassen sich ohne Schwierigkeit in die in den Einsätzen enthaltenen isolierenden, an beiden Enden offenen Röhren einziehen. Beim Abschmelzen der Drähte dringen die Verbrennungsgase mit großer Gewalt aus den Enden der Röhren und löschen die entstehenden Lichtbögen aus. Damit eine gleichmäßige Ventilation gewahrt bleibt, ist eine horizontale Lagerung der Einsätze unter allen Umständen zu vermeiden. Am besten eignet sich eine Neigung derselben von etwa 15^0 gegen die Senkrechte, wie sie sich ergibt, wenn die Konsolen der Sicherungen an senkrechten Wänden angebracht werden. Die geringste allenfalls noch zulässige Neigung der Einsätze gegen die Wagrechte beträgt nach den Erfahrungen dieser Firma etwa 15^0. Bei der Montage der Sicherungen ist sehr darauf zu achten, dass in der Richtung, in welcher die Verbrennungsgase aus den Röhren geschleudert werden, keine blanken stromführenden Theile, z. B. Sammelschienen, liegen, da es namentlich bei direkten Kurzschlüssen oft vorkommt, dass die Schmelzdrähte nur abreißen und zum größten Theil unversehrt aus den Röhren treten. Diese Sicherungen finden in gedeckten Räumen, eine ähnliche Konstruktion dagegen im Freien Verwendung. Fig. 109 zeigt einen Einsatz mit zwei Schmelzdrähten. Zum Einführen dieses Einsatzes in die Sicherung dienen Isolierzangen.

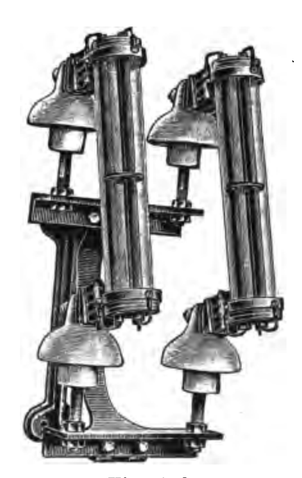


Fig. 108.
Hochspannungssicherung.

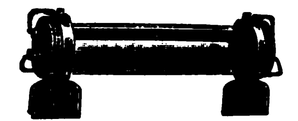


Fig. 109. Einsatz für eine Hochspannungssicherung.

51. Blitzschutzvorrichtungen. Zum Schutze elektrischer Leitungen, Maschinen, Motoren, Transformatoren und sonstiger Einrichtungen, sowie zum Schutze des Lebens des Betriebspersonales, dienen in der Regel für niedrige Spannungen und schwache Ströme dieselben Vorrichtungen wie in der Telegraphie.

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Nachrichten von Siemens & Halske A.-G., 20. September 1900.

Die elektrische Entladung im Blitzschlage vollzieht sich etwa in dem 1000. Theil einer Sekunde. Während dieser Zeit bewegen sich Elektricitätsmengen von tausenden Pferdestärken. Die ungemein kurze Dauer der oscillierenden Entladungen ähnelt den Wechselstromerscheinungen und man behandelt deshalb den Blitz bei der Konstruktion von Blitzableitern als Wechselstrom von sehr hoher Wechselzahl (bis 10^6 in der Sekunde) und berücksichtigt in erster Linie die Selbstinduktion des Weges, welchen die atmosphärische Entladung gehen soll. Die Verwendung von Spulen und ähnlichen induktiven Widerständen darf nur im Nebenschlusse erfolgen. So setzen z. B. die Magnetwindungen von Dynamomaschinen und Motoren von geringem Ohm'schen Widerstande dem Blitze einen so hohen Widerstand entgegen, dass er sie nicht zu durchfließen vermag. Durch die dabei auftretende elektromotorische Gegenkraft wird der Widerstand induktiver Apparate scheinbar vergrößert, ja vervielfacht. Man sagt daher, Dynamomaschinen und Motoren schützen sich selbst. Fehlt für den Blitz ein widerstandsfreierer Weg, so geht der Blitz aus den Schenkelwindungen unter Zerstörung der Isolation, in das Maschinengestell und von diesem zur Erde. Einerseits darf die Selbstinduktion des Blitzableiters nur gering, andererseits muss ein sicherer, gutleitender Weg vorhanden sein, damit nicht ein „Stauen" der Elektricitätsmengen in den Leitungen sofort zur Zerstörung von Lampen und Maschinenspulen führt. Auch das „Nachlaufen" des Maschinenstromes ist zu vermeiden. Der Lichtbogen, welchen der Blitz beim Übergange aus der Maschinenleitung zur Erdleitung herstellt, bildet eine gutleitende Brücke auch für den Maschinenstrom, welcher den Widerstand des Luftzwischenraumes der Blitzschutzvorrichtung nicht zu durchfließen vermag. Durch magnetische Funkenlöschung hat man das Auslöschen dieses Lichtbogens erreicht. Es wurde durch den auftretenden Maschinenstrom ein magnetisches Feld erregt, dessen Kraftlinien den Lichtbogen aus der beinahe geraden Verbindungslinie zwischen den Übergangsstellen herausdrängen und abreißen. Diese Vorrichtung war ein Fortschritt gegenüber älteren Konstruktionen, bei welchen der dem Blitz nachlaufende Maschinenstrom eine Sicherung zum Schmelzen brachte oder sich mit Hilfe eines magnetischen Ausschalters selbst unterbrach. Die magnetische Funkenlöschung empfiehlt sich insbesondere bei Gleichstrom.

Die Funkenstrecke soll wegen der erforderlichen guten Leitung klein sein; sie muss jedoch bei hoher Betriebsspannung vergrößert werden.

Der einfachste Blitzschutz besteht aus zwei Metallplatten, welche einander mit geriffelten Flächen gegenüberstehen. Die zu schützende

Leitung schließt man an die eine Metallplatte an und stellt von der zweiten Metallplatte eine leitende Verbindung zur Erde her.

Will man, sowie es Fig. 110 darstellt, zwei Leitungen L_1 und L_2 durch einen einzigen Blitzableiter schützen, so wird zumeist eine lange, geriefelte Metallplatte P_1 zwei kürzeren P_2 und P_3 gegenüber angeordnet. P_1 dient als gemeinsame Erdleitung; von ihr führt ein Leiter zu einer Erdplatte E. Die Erdleitung schließt man entweder an eine, in stets feuchter Erde befindliche Kupferplatte von etwa 1 m^2 Oberfläche, oder besser an eine Gas- oder Wasserleitung metallisch an. Die Platte P_2 ist mit der zu schützenden Leitung L_1, die Platte P_3 mit der zu schützenden Leitung L_2, fest verbunden. Der gegen atmosphärische Blitzentladungen verhältnismäßig stets niedrig gespannte Strom in der Leitung erscheint durch den Luftraum zwischen den Platten genügend isoliert, während die hochgespannten Blitzentladungen auf dem kürzeren Wege durch den Blitzschutz in die Erde übergehen. Durch das Überspringen einer Blitzentladung zwischen den Blitzplatten schmelzen dieselben meist zusammen, so dass eine Erdleitung von ganz geringem Widerstande entsteht. Hat sich der Blitz gleichzeitig durch beide Pole der Leitung entladen, dann sind die Leitungen L_1 und L_2 auf dem Wege über L_1 P_2 P_1 P_3 L_2 kurz geschlossen und es erfolgt ein augenblickliches Abschmelzen der in der Leitung L_1 L_2 befindlichen Bleisicherung.

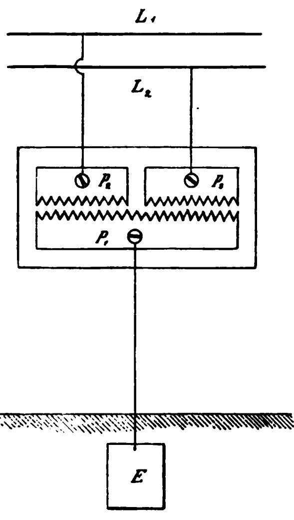


Fig. 110. Blitzableiter.

Luftleitungen sind durch Blitzschutzvorrichtungen an jenen Stellen zu schützen, an welchen sie in Gebäude eintreten oder an Kabel angeschlossen sind. Leitungen, welche durch mehrere Stockwerke alleinstehender Gebäude führen, schützt man vortheilhaft durch eine, von beiden Polen des Schaltbrettes der Maschinenanlage abgezweigte Blitzschutzvorrichtung.

Blitzschutzvorrichtungen arbeiten nur dann zuverlässig, wenn der Widerstand der Erdleitung höchstens 10 Ohm beträgt.

Ebenso wie die obigen Apparate schützt ein über den Kupferleitungen geführter, sogenannter S t a c h e l d r a h t letztere vor Blitzschlägen. Von diesem werden in bestimmten Entfernungen, mindestens an jeden 5. Mast, Erdleitungen zu Erdplatten geführt. Die Stachel-

drähte windet man häufig auch um die Leitungsstangen herum, um das Ersteigen derselben möglichst zu verhindern.

Blitzschutzvorrichtungen und Stacheldrähte können auch gleichzeitig Verwendung finden.

Der Hörnerblitzableiter der Siemens & Halske A.-G. [1]) für Gleich- und Wechselstrom, Fig. 111, ein Blitzableiter, welcher sofort, nach dem Blitzschlag wieder arbeitsfähig ist und in keiner Weise mehr Beaufsichtigung erfordert als der übrige Theil der Strecke. Derselbe besteht im Wesentlichen aus 2 hörnerartig gebogenen Metalldrähten, deren einer an der Leitung liegt, während der andere mit der Erde in leitender Verbindung steht. Die kleinste Entfernung zwischen den beiden Hörnerdrähten ist je nach der Maschinenspannung des zu schützenden Netzes verschieden und jedenfalls so bemessen, dass der Maschinenstrom dieselbe normaler Weise nicht überspringen kann, während der Blitz ohne Verzögerung einen Weg zur Erde findet. Dieser Blitzableiter wird zum Teil auf Traversen, welche beispielsweise auf das Zopfende von Masten geschraubt werden können, zum Theil auf Konsolen, welche an Mauerwerk und ähnlichen Stützpunkten befestigt werden können, ausgeführt.



Fig. 111. Hörnerblitzableiter.

Die Wirkung des Hörnerblitzableiters beruht in erster Linie auf den elektrodynamischen Eigenschaften des Stromes. Diese sind bestrebt, die Stromschleife, welche durch den Stromweg erstes Horn — Lichtbogen — zweites Horn, gebildet wird, zu erweitern, den Lichtbogen von den Eintrittsstellen des Stromes zu entfernen. Unterstützt wird die elektrodynamische Wirkung durch die erwärmte Luft, durch welche der Lichtbogen ebenfalls nach oben getrieben und zerrissen wird.

Die Selbstinduktionsspule (etwa 10—20 Windungen) wird vor die Maschine in die Hauptleitung geschaltet, so dass sie die Blitzentladungen von der Maschine auf die Blitzableiterplatten abdrängt.

Ähnliche Blitzableiter bauen die General Electric Co. (Elihu Thomson) und die Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft. Letztere wendet einen Blasmagnet an, welcher den Lichtbogen auslöscht. Der Blasmagnet erhält Maschinenstrom.

[1]) Vgl. Elektrotechnische Zeitschrift. Nachrichten der Siemens & Halske A.-G. 1900, Heft 36, XVII.

Thury verwendet bei seiner Gleichstrom-Serienmotorenanlage zur Verhinderung eines plötzlichen übermäßigen Anwachsens der Spannung außer Induktionsspulen auch Kondensatoren.

Wurts hat eine Blitzschutzvorrichtung von besonderem praktischen Werte konstruiert. Auf einer Grundplatte, welche zur Erde abgeleitet ist, sind eine Reihe von Zinkscheiben säulenförmig aufeinandergeschichtet. Die einzelnen Zinkscheiben sind durch Glimmerscheiben von einander isoliert. Von der obersten Scheibe erfolgt die Entladung zur nächsten u. s. w. und führt von der Grundplatte zur Erde. Dabei wird der Entladung so viel Wärme entzogen, dass nur kleine Fünkchen zu Stande kommen. Für höhere Spannungen (etwa 3000 Volt) verwendet man eine Reihe von parallelen Zinkröhrchen oder Bronzeröhren. Letztere sind auf isolierende Bolzen drehbar aufgeschoben. Es können so alle Theile der Mantel der Röhren, die durch Funken zerstört sind, ausgenützt werden.

Ähnliche Konstruktionen bauen: Allgemeine Elektricitätsgesellschaft, Elektricitäts-Aktien-Gesellschaft vormals Schuckert & Co., Voigt & Haeffner und andere Firmen.

52. Die Schaltvorrichtungen haben den Zweck:

1. Den Stromkreis zu schließen oder zu öffnen (Ausschalter).

2. Denselben Strom in zwei oder mehreren Leitungen zu benützen (Umschalter und Nachschalter).

3. Die Richtung des Stromes umzukehren (Polwechsler).

4. Jeden Maschinenkreis mit jedem Lampenkreise beliebig zu verbinden (Generalumschalter).

Grundbedingungen für den Bau dieser Vorrichtungen sind:

1. Die Abmessungen der Kontakte, zwischen den festen und den beweglichen Theilen, müssen reichlich bemessen sein. Die zulässige Beanspruchung für die Flächenberührung an den Kontakten ist durch die Art der Konstruktion bedingt und nie größer als 1 Ampère für 1 mm^2.

2. Der Kontakt zwischen den festen und beweglichen Theilen muss derart sein, dass selbst bei den größten Stromstärken keine Erwärmung desselben eintritt, was nur durch eine äußerst präcise mechanische Ausführung dieser Vorrichtungen erreicht werden kann.

3. Das Öffnen der Schalter muss sehr schnell und genügend weit erfolgen, weil dadurch zu lange Öffnungsfunken oder gar Lichtbögen zwischen den festen und beweglichen Theilen vermieden werden können. Bezüglich der Funken beim Einschalten der Schaltvorrichtungen ist keine weitere Vorsichtsmaßregel von Belang.

Von den zahllosen Konstruktionen der Schalter seien in den nächsten Figuren einige, häufig in Verwendung stehende Vorrichtungen wiedergegeben.

Fig. 112 stellt einen Ausschalter einfachster Konstruktion, für beliebige Stromstärken, dar.

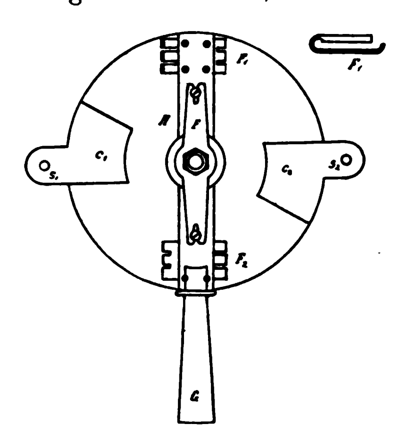


Fig. 112. Ausschalter.

Dieser Ausschalter ist auf Schiefer, Porzellan, Glas u s. w. aufmontiert und besteht im wesentlichen aus zwei Metallkontaktstücken c_1 und c_2, welche an die unterbrochene Leitung bei s_1 und s_2 angeschlossen sind. Das Ein- und Ausschalten wird mittelst des Hebels GH besorgt, welcher aus dem Metalltheile H und dem Griffe G zusammengesetzt ist. Der Metalltheil H wird mittelst einer, im Mittelpunkte des Ausschalters befindlichen, Kontaktmutter und der Feder F niedergedrückt, so, dass eine innige Berührung zwischen den Kontakten c_1 und c_2 und den an dem Metallhebel H befestigten Metallfedern F_1 und F_2 entsteht.

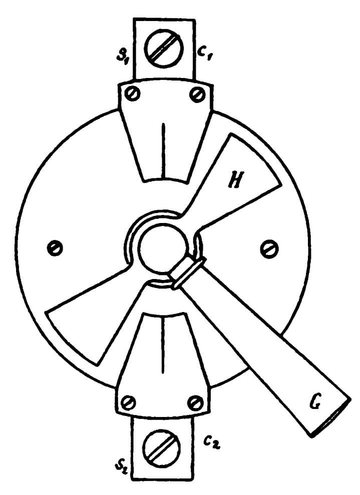


Fig. 113.



Ausschalter. Fig. 114.

In dem in Fig. 113 abgebildeten Ausschalter sind die Kontaktstücke c_1 und c_2, behufs Herstellung einer guten federnden Berührung, in zwei, auf einander senkrechten Richtungen gespalten.

Fig. 114 stellt ein perspektivisches Bild einer ähnlichen Konstruktion vor.

Der Hebel des Messerausschalters in Fig. 115 hat bei D seinen Drehpunkt und wird an den Klemmen k_1 und k_2 eingeschaltet. Man schließt den Ausschalter, indem man das Metallstück M des Hebels $G\,M$ zwischen die gespalteten Metallstücke S_1 und S_2 bewegt. Das Einschalten des Hebels, infolge seines eigenen Gewichtes, verhindert die Feder f und die Nase n.

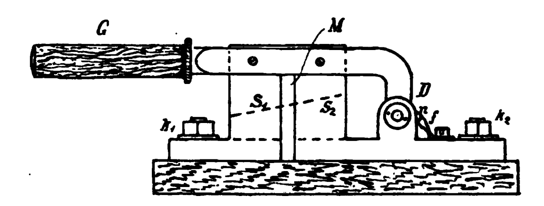


Fig. 115. Messerschalter.

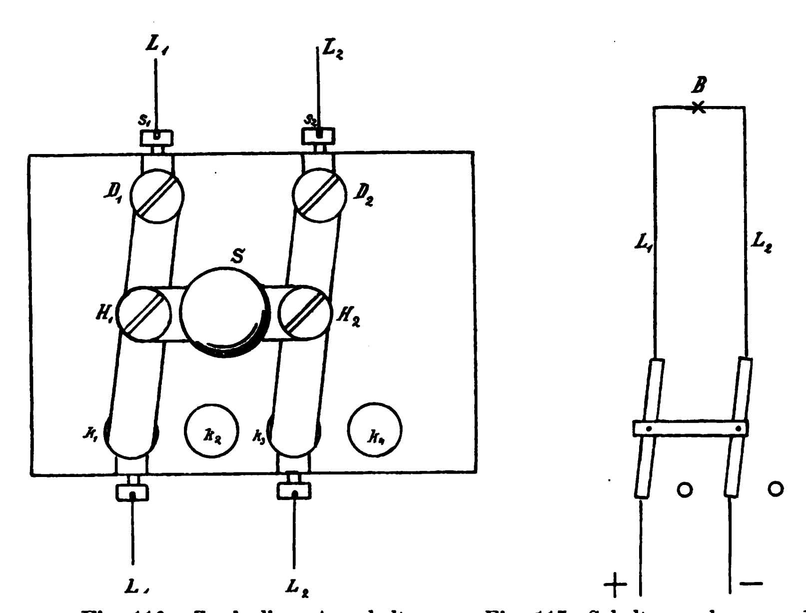


Fig. 116. Zweipoliger Ausschalter. Fig. 117. Schaltungsschema zu Fig. 116.

In den vorangehenden Ausschaltern wurde nur eine Leitung und zwar die positive oder negative unterbrochen (unipolare oder einpolige Ausschalter), während in dem Ausschalter, welcher in Fig. 116 skizziert ist (bipolarer oder zweipoliger Ausschalter), beide Leitungen dadurch ausgeschaltet werden, dass man das Verbindungsstück S solange nach rechts bewegt, bis die Hebel H_1 und H_2 von den Kontaktknöpfen k_1 und k_3 auf k_2 und k_4 zu liegen kommen. Das Ver-

bindungsstück S besteht aus einem isolierenden Materiale. Die Hebel H_1 und H_2 sind, wie die Contaktknöpfe k_1, k_2, k_3 und k_4 und die Anschlüsse s_1 D_1 und s_2 D_2, aus Metall. Bei D_1 und D_2 befinden sich die Hebeldrehpunkte.

Fig. 117 stellt die Verbindung des letzten Ausschalters mit den Leitungen L_1 und L_2 und der Lampe B schematisch dar.

In den folgenden Figuren 118 bis 119 sind Ausschalter für niedere Stromstärken wiedergegeben.

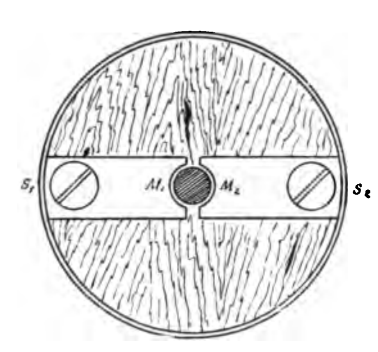


Fig. 118. Stöpselschalter.

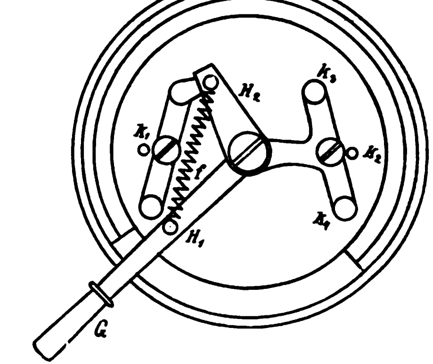


Fig. 120. Schalter.

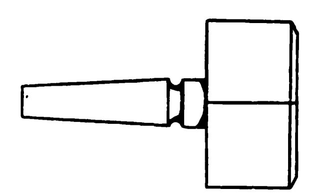


Fig. 119. Stöpsel zu Fig. 118.

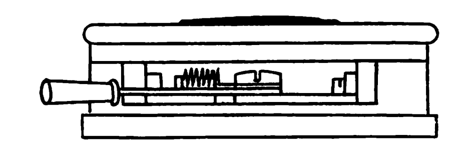
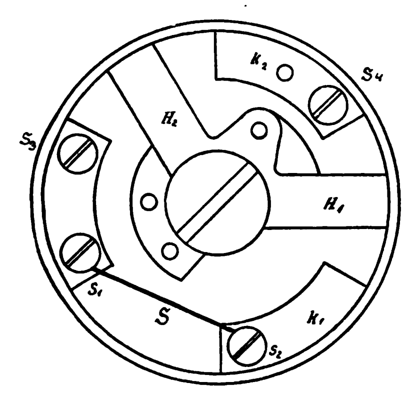


Fig. 121. Schalter.

Der Ausschalter in Fig. 118 besteht aus zwei Metalltheilen M_1 und M_2 mit den Anschlussschrauben s_1 und s_2. Der metallische Schluss zwischen den Metalltheilen erfolgt durch den Stöpsel, Fig. 119.

Der Patentausschalter der Vereinigten Elektricitäts-A.-G. vorm. B. Egger & Co., Fig. 120 und 121, benützt zum raschen Unterbrechen eines Stromkreises die Spannkraft der Feder f. Der Anschluss der Leitung erfolgt bei den Klemmschrauben k_1 und k_2. In der Figur ist der Stromkreis zwischen k_1 und k_2 durch die beiden Hebel H_1 und H_2 geschlossen. Dreht man den Hebel H_1, sammt dem Griffe G, nach rechts, so wird zwischen k_4 und dem Hebel H_1 und k_3 und dem Hebel H_2 Kontakt hergestellt, die Feder f befindet sich jetzt ebenfalls rechts und hat den Hebel H_2 mit sich genommen. In dieser Stellung ist der Ausschalter ausgeschaltet.

Der Ausschalter in den Fig. 122 und 123 unterscheidet sich von dem vorangehenden dadurch, dass die Hebel H_1 und H_2 fest mit einander verbunden sind und das Ausschalten an den Kontaktstellen k_1 und k_2 erfolgt, wodurch, bei gleich bemessenen Hebeln, eine geringere Funken-



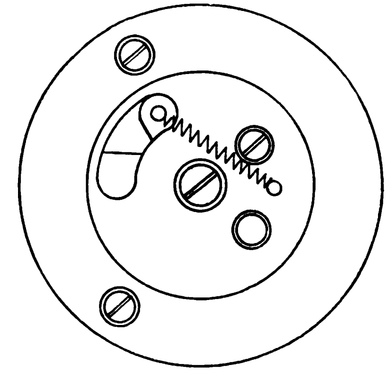


Fig. 122. Schalter sammt Sicherung. Fig. 123.




Fig. 124. Zweipoliger Ausschalter.



Fig. 125. Zweipoliger Ausschalter.

bildung erzielt wird; dieser Ausschalter ist zwischen den Schrauben s_1 und s_2 mit einer Sicherung S versehen und an den Schrauben s_3 und s_4 in die Leitung einzuschalten.

Die Figuren 124 und 125 bringen zwei verschiedene zweipolige Ausschalter der F a b r i k e l e k t r i s c h e r A p p a r a t e A.-G. Aarburg

(Lehmann & Co., Wien). Der Schalter Fig. 124 ist für niedere Spannungen, der Schalter Fig. 125 für Spannungen bis 250 Volt und eine Stromstärke von 30 Ampère bestimmt.



Fig. 126. Einpoliger Schalter.

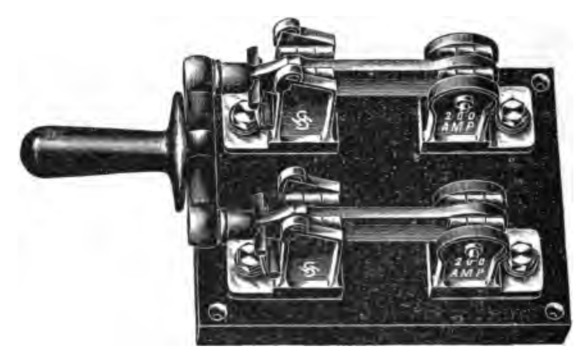


Fig. 127. Zweipoliger Schalter.

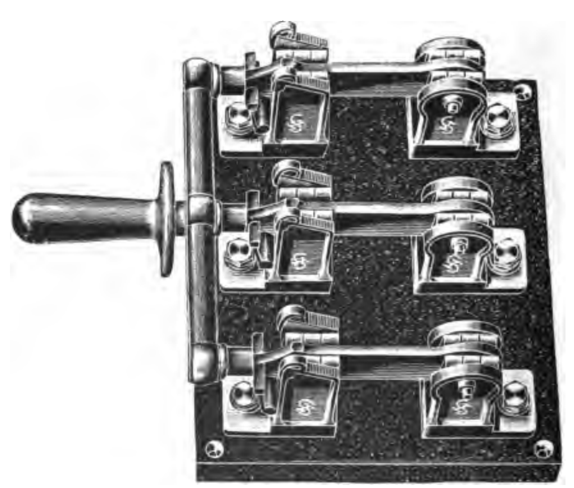


Fig. 128. Dreipoliger Schalter.

Ausschalter der Siemens & Halske A.-G. geben die Figuren 126 bis 131 wieder. Diese Schalter werden sowohl als Ausschalter als auch als Umschalter einpolig, Fig. 126, zweipolig, Fig. 127, drei-

polig, Fig. 128, für Stromstärken bis 30, 100, 200, 400, 700, 1000, 1500 und 2000 Ampère gebaut, und zwar sowohl auf Sockel von dunkelfarbigem Marmor, Fig. 126 bis 128, eingerichtet für Anschluss von vorn, als auch ohne Sockel, mit Anschlussbolzen Fig. 129, zum An-



Fig. 129. Schalter ohne Sockel.



Fig. 130. Hebelausschalter.

schluss der Zuleitungen von der Rückseite der Schalttafel. Die höchste Spannung, für welche die Schalter verwendbar sind, beträgt 1000 Volt. Die Schalter haben einen solchen Bau, dass eine zufällige Berührung blanker, stromführender Theile bei sachgemäßer Bedienung so gut wie

ausgeschlossen ist. Die Kontaktflächen sind reichlich bemessen. Die Vermeidung unnöthig großer Metallmassen sowie die zweckmäßige Untertheilung derselben verhindern das Auftreten von Wirbelströmen. Die Schalter erwärmen sich daher auch bei Wechselstrom nur gering. Um die Kontakte dauernd in gutem Zustand zu erhalten, sind die Schalter für mehr als 100 Ampère mit leicht auswechselbaren Funkenziehern versehen. Fig. 130 veranschaulicht einen solchen Hebelausschalter für Stromstärken bis 2000 Ampère und Spannungen bis 1000 Volt.

Fig. 131 *a* und 131 *b* stellt einen dreipoligen Hochspannungsausschalter ohne Gehäuse für Einbau in Schalttafeln der Siemens & Halske A.-G. dar. Dieser Schalter findet für Ströme bis 400 Ampère und Spannungen bis 3000 Volt Verwendung.

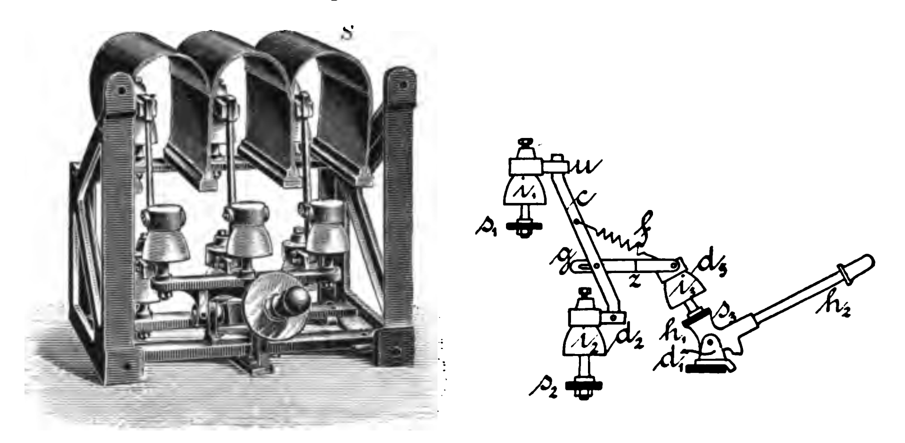


Fig. 131 *a*. Hochspannungsausschalter. Fig. 131 *b*.
Persp. Bild. Schema.

Konstruktion des dreipoligen Ausschalters, Fig. 131 *a* und 131 *b*: Je 3 Doppelglockenisolatoren i_1 und i_2 sind auf den im Eisengestell ruhend befestigten Stegen s_1 und s_2 aufgeschraubt. 3 Doppelglockenisolatoren i_3 sind auf dem, durch Doppelhebel h_1 h_2 um die Drehpunkte d_1 drehbaren Steg s_3 aufgeschraubt. Alle Isolatoren sind mit Mettallkappen versehen. Diejenigen von i_1 und i_2 dienen einerseits zum Anschluss der Leitungen, andererseits zur Kontaktbildung mit dem um die Drehpunkte d_2 drehbaren Kontakthebel c. Die Bewegungsübertragung von dem Ausschalte-Doppelhebel h_1 h_2 auf die Kontakthebel c geschieht unter Benützung der Zwischenstücke z, welche bei den Drehpunkten d_3 und den Geradführungen g beweglich angeordnet sind. S sind Schutzkappen aus präpariertem Pappendeckel. Dieselben verhindern das Aufsteigen der Lichtbögen und das Überschlagen von einem Pol seitwärts zum

anderen Pol. *f* sind Abreißfedern. Die Stromunterbrechung erfolgt bei *u*, Fig. 131 *b*.

Verwendung: Hauptsächlich für solche Anlagen, wo es möglich ist, den normalen Betriebsstrom vor dem Abschalten auf eine geringe Stärke abzuschwächen, da der bei hohen Spannungen unvermeidliche Lichtbogen bei vorliegender Konstruktion ohne besondere künstliche Mittel (Löschvorrichtungen), nämlich bloß durch eine möglichst lange Unterbrechungsöffnung zum Erlöschen gebracht wird.

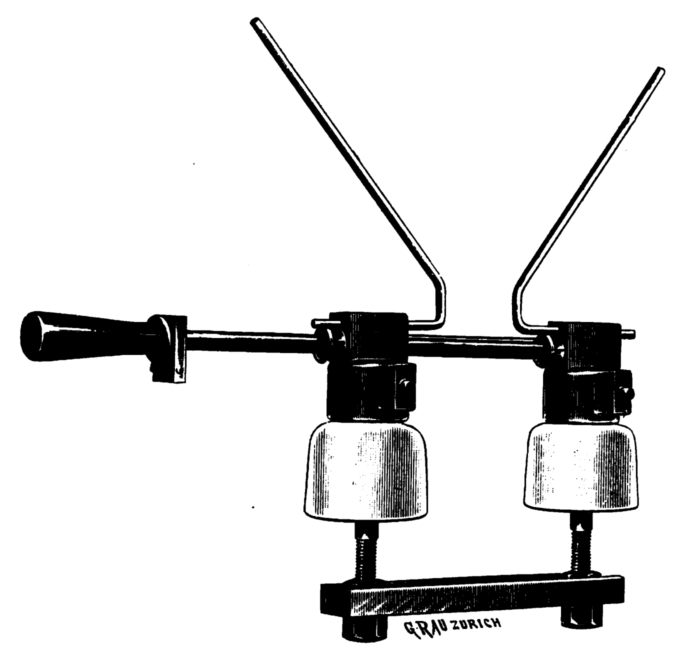


Fig. 132. Hochspannungsausschalter.

Die Fig. 132 bis 135 zeigen Hochspannungsausschalter der Fabrik elektrischer Apparate A.-G. Aarburg (Lehmann & Co., Wien). Diese Apparate erinnern an den Blitzableiter, Fig. 111. Die Ausschaltung erfolgt durch das Auseinanderziehen von einem Handgriffe aus, Fig. 132, oder vermittelst einer Windetrommel durch Seile, Fig. 133 bis 135. Der Hochspannungsausschalter Fig. 135 ist für 1000 bis 10000 Volt bestimmt.

In Fig. 136 ist ein Umschalter mit 16 Kontakten abgebildet. Wird der Metallring *R* bei *a* an eine gemeinsame Leitung, je einer der Kontakte 2 bis 16 an eine Zweigleitung angeschlossen, so ermöglicht dieser Umschalter die Verwendung des Stromes einer Stromquelle in

15 verschiedenen Stromkreisen. Sind zwischen den einzelnen Kontakten Widerstände w_1, w_2 u. s. w. eingeschaltet, so kann man durch Drehung des Hebels von 2 bis 16, den Gesammtwiderstand ausschalten und den betreffenden Stromkreis kurzschließen; durch den letzteren Vorgang erfolgt das Regulieren von Stromstärken und Spannungen in Stromkreisen.

Fig. 137 gibt einen einpoligen Umschalter für sehr hohe Stromstärken wieder. Je nachdem der Strom aus der Leitung L_1 in L_2 oder L_3 fließen soll, dreht man den Hebel H an dem Griffe G zwischen die Kontakte c_1 und c_4 oder c_2 und c_3. Die Kontakte c_1, c_2, c_3 und c_4 sind, behufs Herstellung einer innigen federnden Berührung mit dem Hebel H, in zwei auf einander senkrechten

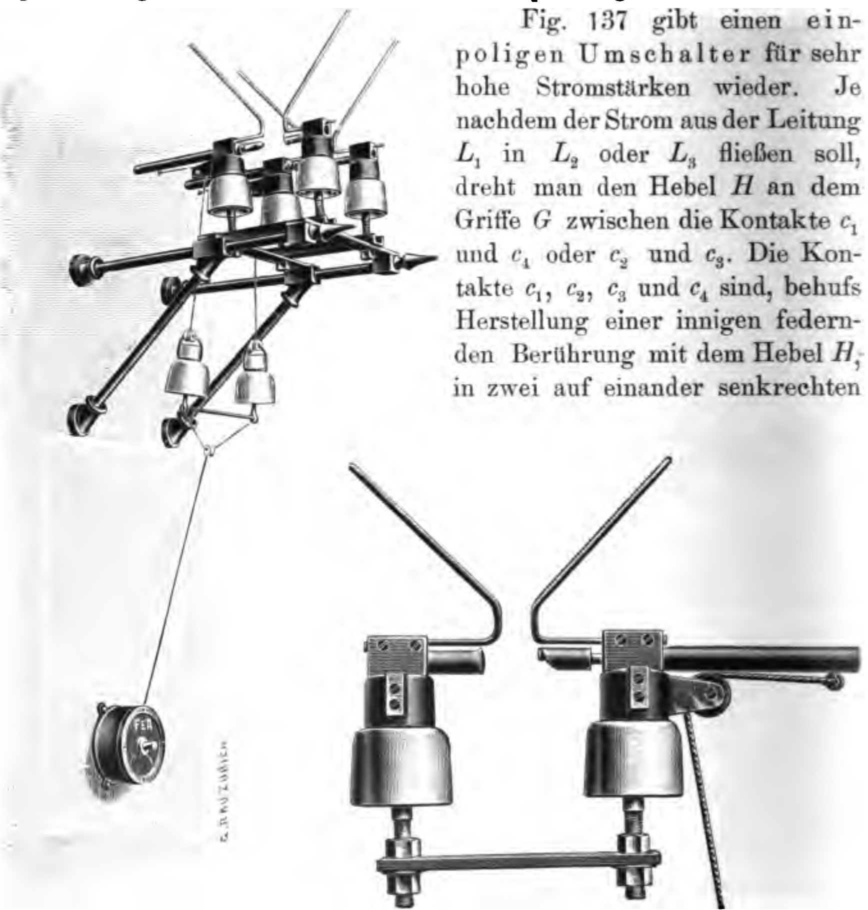


Fig. 133. Hochspannungsausschalter. **Fig. 134. Hochspannungsausschalter.**

Richtungen gespalten. Die Metallbögen s_1 und s_2 dienen zur Führung des Hebels H.

Der Spannungszeigerumschalter, Fig. 138 bis 140, hat den Zweck, mit einem einzigen Spannungszeiger die Spannungen an den verschiedenen Stellen der Leitungen zu messen. Er besteht der Hauptsache nach aus einem Hebel H, welcher durch den Griff G gedreht werden kann. An den Enden des Hebels H sind die Messingkontakte C_1 und C_2,



Fig. 135. Hochspannungsausschalter für 1000—10000 Volt.

Fig. 139, befestigt, welche isoliert aufgeschraubt werden und entweder auf den Metallstücken 1, 2 und 1', 2' oder 2, 3 und 2', 3' aufliegen. Einen guten Kontakt bewirkt die Spannkraft der Feder F, welche die Kontakte C_1 und C_2, in der durch den Pfeil angegebenen Richtung, niederdrückt. Mit diesem Ausschalter kann die Spannung an den Punkten A und B oder P_1 und P_2 gemessen werden, wenn der Volt-

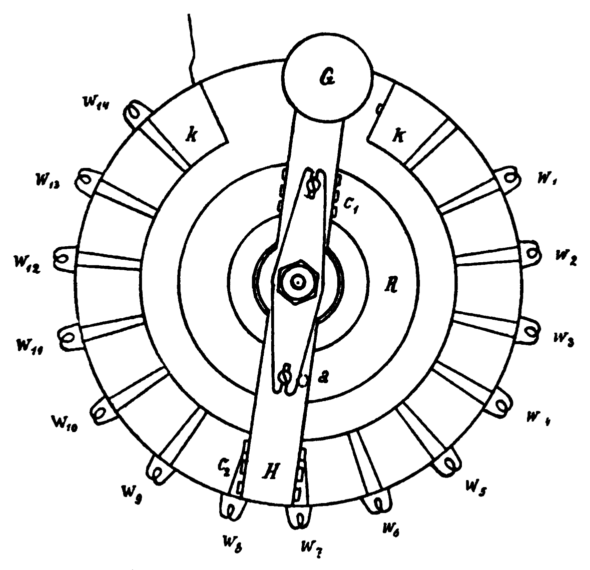


Fig. 136. Schalter.

messer an die Kontakte 2, 2' und die Punkte A, B, P_1, P_2, sowie es Fig. 140 zeigt, an die Kontakte 1, 1', beziehungsweise 3, 3' angeschlossen ist. Enthält der Apparat statt 6, 8, 10, 12 u. s. f. Kontakte, so kann man mittelst eines Spannungszeigers die Spannung an 3, 4, 5 u. s. w., beliebig weit entfernten, Orten messen. Diese Vorrichtung kann auch zur Bestimmung der Spannung bei Akkumulatorenanlagen verwendet werden; es genügt dann ein einziger Spannungszeiger zur Kontrollierung der Spannung an sämmtlichen Akkumulatoren.

Fig. 137. Umschalter.

Umschalter zum Ein- und Ausschalten von getrennten Orten aus. Dieser Umschalter, Fig. 141, dient zum Ein- und Ausschalten von Glüh- oder Bogenlampen, Messinstrumenten, Apparaten, Maschinen, Motoren, Transformatoren u. s. w. von den getrennten Orten $O_1\,A_1\,B_1$ und $O_2\,A_2\,B_2$ aus. Die Kontakte $A_1\,B_1$ und $A_2\,B_2$ der Umschalter werden durch Leitungen miteinander verbunden. Der Hebel des Umschalters $O_1\,A_1\,B_1$ liegt an dem einen Pol der Stromquelle, der Hebel des Umschalters $O_2\,A_2\,B_2$ an den ein- und auszuschaltenden Lampen G; an letzteren schließt der zweite Pol der Stromquelle an. Die beiden Kontakte $A_1\,B_1$ einerseits und $A_2\,B_2$ andererseits müssen soweit voneinander entfernt sein, dass die Hebel O_1 einerseits und O_2 andererseits sie nicht gleichzeitig verbinden

können. Gibt der Hebel O_1 auf A_1 Kontakt, so sind die Lampen G eingeschaltet, wenn der Hebel O_2 auf A_2, sie sind ausgeschaltet, wenn der Hebel O_2 auf B_2 liegt.

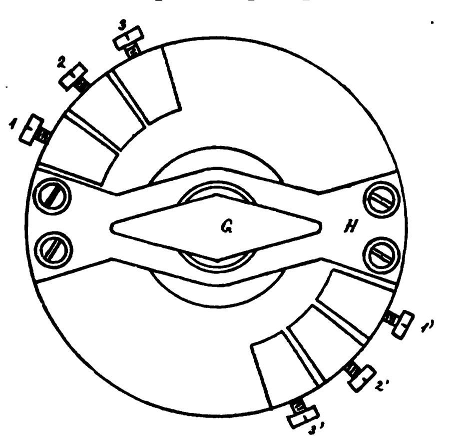


Fig. 138. Spannungszeigerumschalter.

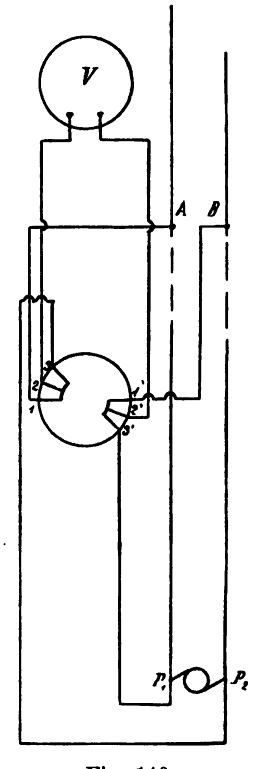


Fig. 140.
Schaltungsschema zu den Fig. 138 und 139.

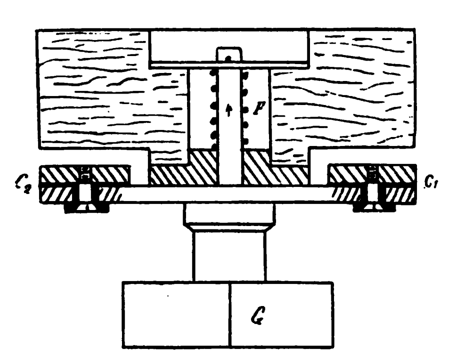


Fig. 139. Spannungszeigerumschalter. Schnitt.

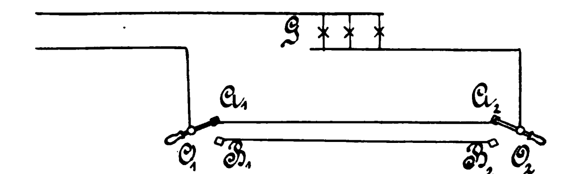


Fig. 141. Ein- und Ausschalten von getrennten Orten.

Die Generalumschalter haben den Zweck, jede beliebige Maschine in jeden beliebigen Stromkreis einzuschalten. Während des Betriebes ist diese Schaltung, ohne Funkenbildung, sehr schwer zu erreichen. Der Generalumschalter in den Fig. 142 und 143 besteht,

sowie sämmtliche Schalter seiner Gattung, aus 3 oder mehreren kreuzweise übereinander gelegten, von einander isolierten, Metallschienen. Die Kreuzungsstellen sind durchlöchert und können durch Kontaktstöpsel an diesen Stellen verbunden werden. Die vertikalen Schienen I II III des Umschalters U_1 sind mit den positiven Leitungen, diejenigen des Umschalters U_2 mit den negativen Leitungen der Stromquelle verbunden. Die horizontalen Schienen *A B C* sind an die betreffenden Stromkreise angeschlossen. Soll z. B. die Stromquelle *I* auf den Stromkreis *A* geschaltet werden, so sind die Kreuzungsstellen zwischen den Schienen *I*

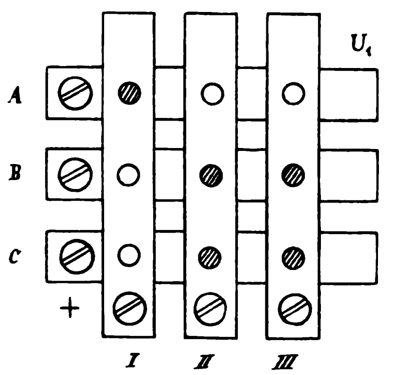


Fig. 142. Generalumschalter.

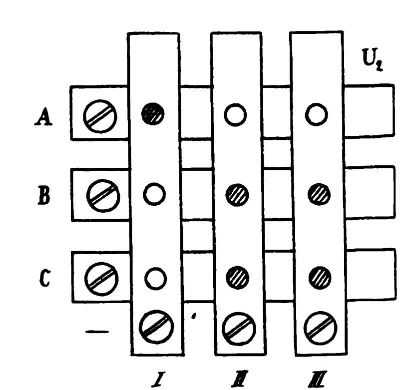


Fig. 143. Generalumschalter.



Fig. 144. Einpoliger Umschalter.

und den Schienen *A* zu stöpseln. In der Telegraphentechnik werden diese Generalumschalter (Stöpselkommutatoren), außer den Quecksilberkommutatoren, zur Kombinierung vieler Stromkreise verwendet. Sie gestatten eine Linie mit einem Apparate, 2 Linien miteinander, 2 Apparate miteinander u. s. w. zu verbinden.

Außer den genannten Schaltern seien die Quecksilberkommutatoren erwähnt, bei welchen die einzelnen Drähte in isolierte, mit Quecksilber gefüllte Näpfe tauchen; die letzteren werden unter einander in der Regel durch Kupferbügel verbunden. Amalgamierte Drähte eignen

sich ganz besonders zur Verbindung der Quecksilbernäpfe und vermindern die durch sonstige Verbindungen von Leitern entstehenden Widerstandsvergrößerungen des Stromkreises. Bei der Berührung zweier Metalle ist dieser Widerstand größer und hängt insbesondere von der Größe der Berührungsflächen und der Art der Berührung (fest oder lose) ab. Quecksilberausschalter finden bei den Magnetautomaten (I. Th. 2 B. S. 180), sowie bei den Automaten der ersten und zweiten Gruppe (Seite 126) Verwendung.



Fig. 145. Einpoliger Umschalter bis 250 Volt für 30 und 100 Ampère.

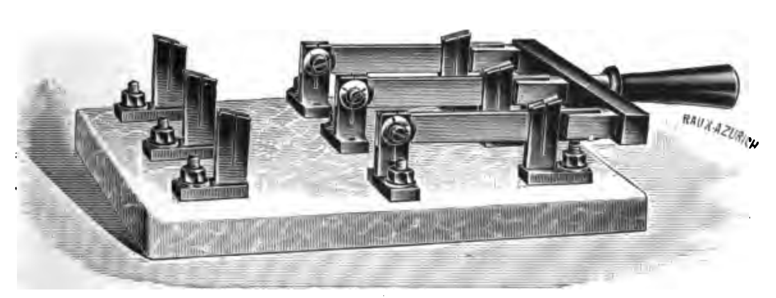
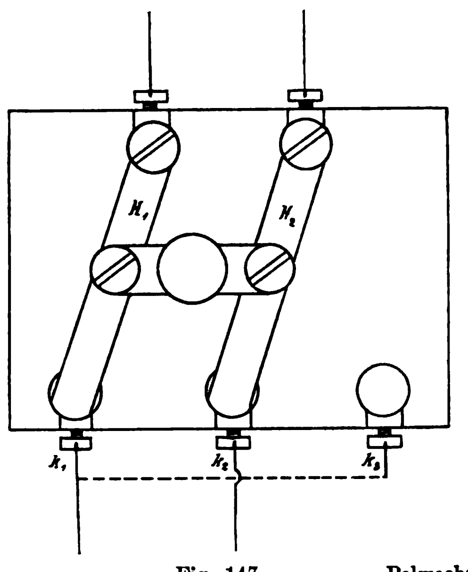


Fig. 146. Dreipoliger Umschalter.

Die Berührungsstellen sämmtlicher Schaltvorrichtungen müssen stets metallisch rein und vollkommen anschließend erhalten werden.

Bezüglich des in der Figur 144 dargestellten einpoligen Umschalter der Siemens & Halske A.-G. sei auf die Fig. 126 bis 130 hingewiesen.

Fig. 145 veranschaulicht einen einpoligen, Fig. 146 einen dreipoligen Umschalter der Fabrik elektrischer Apparate A.-G. in Aarburg (Lehmann & Co., Wien.)



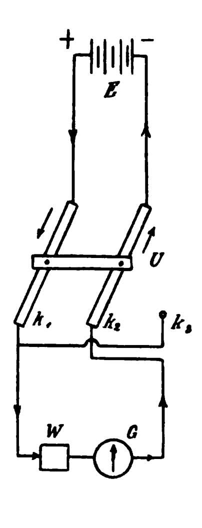


Fig. 147. Polwechsler. Fig. 148.

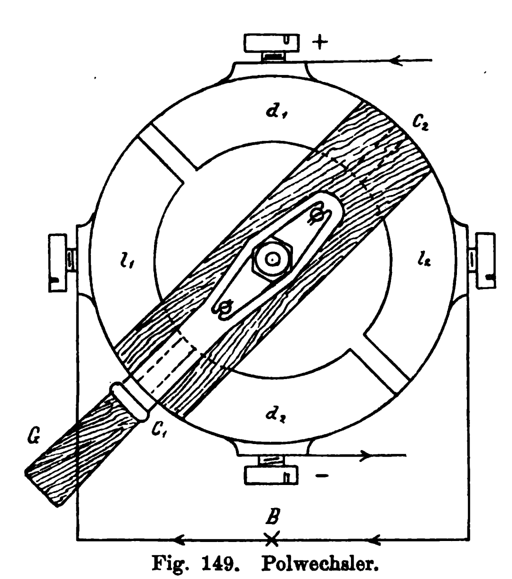
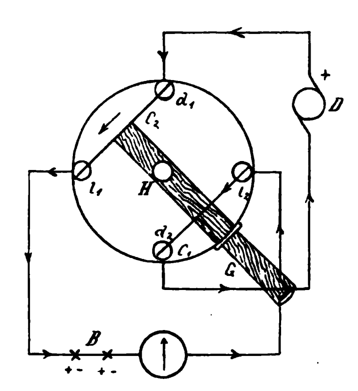


Fig. 149. Polwechsler.

Der Polwechsler Fig. 147 und 148 unterscheidet sich von dem bipolaren Ausschalter in den Fig. 116 und 117 nur dadurch, dass er statt 4 Kontaktknöpfe bloß 3 besitzt. k_1 und k_3 sind mit einander leitend verbunden und bilden den einen Pol, während k_2 an dem zweiten Pole angeschlossen ist. Bei der schematischen Anordnung in Fig. 147 fließt der Strom durch das Torsionsgalvanometer G und den Zusatzwiderstand W in der, durch die Pfeile angegebenen Richtung. Dreht man die Hebel H_1 und H_2, Fig. 146, nach rechts, so dass dieselben auf den Kontakten k_2 und k_3 aufliegen, dann verläuft der Strom im entgegengesetzten Sinne.

Der in Fig. 149 dargestellte Polwechsler besteht aus den Metallklötzchen d_1, d_2, l_1, l_2 und dem Hebel mit den beiden Kontakten C_1 und C_2. Der positive Strom der Dynamo tritt z. B. bei d_1 an den Schalter, fließt, bei der in der Figur gegebenen Stellung des Hebels, durch den Kontakt C_2 nach l_2, von hier in die Bogenlampe B, in das Metallklötzchen l_1, durch den Kontakt C_1 und von d_2 zum negativen



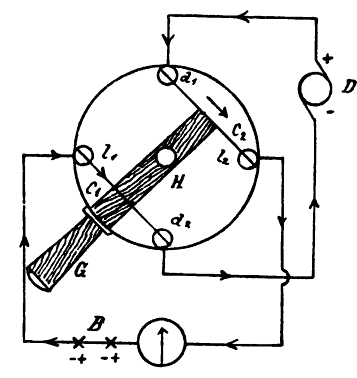


Fig. 150. Polwechsler. Fig. 151.

Pole der Maschine. Dreht man den Hebel an dem Griffe G um 90^0 nach rechts, so schließt der Kontakt C_1 die Klötzchen d_1 und l_1, der Kontakt C_2 die Klötzchen d_2 und l_2 kurz und der Strom erhält jetzt beim Durchgange durch die Lampe die entgegengesetzte Richtung.

Die Handhabung des, in den Fig. 150 und 151 abgebildeten, Polwechslers ist dieselbe, wie die des zuletzt beschriebenen; sie erscheint in den zwei, den Polwechseln entsprechenden Stellungen, Fig. 150 und 151. Einen weiteren, wesentlich gleichen Polwechsler für hohe Stromstärken, stellt Fig. 152 dar.

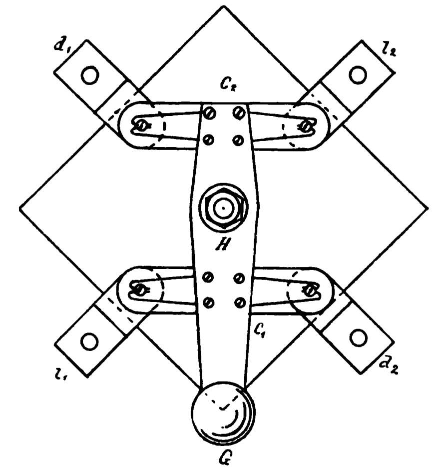


Fig. 152. Polwechsler.

53. Automaten.

Eintheilung. Die Automaten lassen sich in folgende Gruppen eintheilen:

1. Gruppe. **Automaten, welche den Stromkreis bei zu hoher Stromstärke unterbrechen.**

2. Gruppe. **Automaten, welche den Stromkreis bei zu niederer Stromstärke unterbrechen.**

3. Gruppe. **Automaten, welche anstatt einer ausgelöschten Lampe eine bleibende Einschaltung eines Ersatzwiderstandes oder einer Ersatzlampe gestatten.**

1. und 2. Gruppe. Aus den Fig. 153 und Fig. 154 ist das Wesen der Apparate dieser Gruppen ersichtlich. Ein Elektromagnet *E*, ein Ankerhebel *H*, welcher bei *D* seinen Drehpunkt hat und ein Quecksilbernapf *n*, sowie das Gewicht *G* und der Kontaktstift *S* bilden die Hauptbestandtheile eines solchen Automaten.

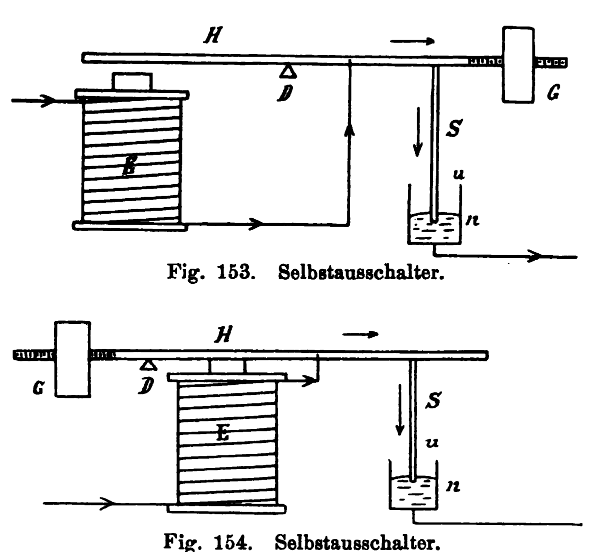


Fig. 153. Selbstausschalter.

Fig. 154. Selbstausschalter.

Der Apparat in Fig. 153 schaltet aus, wenn die Stromstärke eine gewisse, normale Grenze überschritten hat; dann wird der Elektromagnet seinen Anker anziehen und den Stromkreis bei *u*, zwischen Quecksilber und Kontaktstift, unterbrechen.

Der in Fig. 154 abgebildete Automat schaltet aus, wenn die Stromstärke unter eine bestimmte Grenze herabsinkt; dann lässt der Elektromagnet den Anker los, wodurch der Stromkreis bei *u* unterbrochen erscheint.

Durch das Verschieben des Gewichtes *G* auf dem Hebel *H* ist eine beliebige Einstellung des Automaten innerhalb ziemlich weiter Grenzen für verschiedene, der Drahtstärke der Windungen des Solenoides entsprechende, Stromstärken zu erreichen.

Anstatt des Elektromagnetes *E* kann auch ein Solenoid Anwendung finden, welches durch die Einwirkung auf einen beweglichen Eisenkern das Unterbrechen und Schließen des Automaten besorgt.

Bei sämmtlichen Apparaten, welche mit Quecksilberkontakten versehen sind, tritt Funkenbildung ein. In Räumen, welche entzündliche

Gase enthalten, führt schon die geringste Funkenbildung eine Entzündung herbei. Starke Funkenbildung an Quecksilberkontakten erzeugt sehr schädliche Quecksilberdämpfe. Zur Vermeidung jeder Funkenbildung an Apparaten mit obigen Kontakten habe ich im Nebenschlusse zu den Apparaten eine, entsprechend bemessene, Sicherung angebracht. Nach Unterbrechung des Kontaktes dauert es dann immer noch einen Augenblick, ehe die Sicherung abschmilzt, und es erscheint somit durch diese Anordnung, da eine Reihe von Konstruktionen funkenloserer Sicherungen bestehen. jede Funkenbildung ausgeschlossen.

Selbstthätige Ausschalter, bei zu schwachem Strom ausschaltend (Minimalausschalter) der Siemens & Halske A.-G., Fig. 155 und 156.





Fig 155. Selbstthätiger Ausschalter.

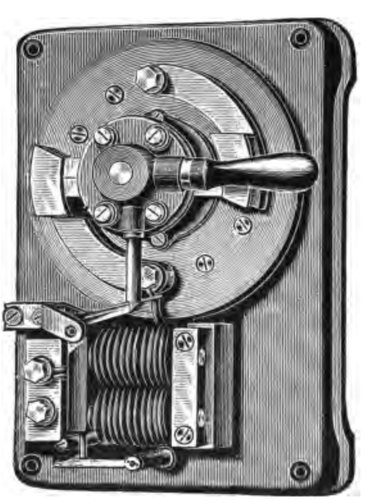


Fig. 156. Selbstthätiger Ausschalter.

Diese Ausschalter bewirken selbstthätig eine Unterbrechung des Stromes, sobald die Stromstärke unter ein gewisses zulässiges Maß herabsinkt. Sie finden hauptsächlich in Gleichstromanlagen mit Akkumulatoren Verwendung und haben alsdann den Zweck, zu verhindern, dass die Dynamomaschine Strom von dem Akkumulator empfängt, was sowohl beim Laden als auch beim Parallelschalten aufs Netz möglich ist. Ebenso geeignet sind diese Schalter beim Parallelbetrieb von Dynamomaschinen, wenn man verhüten will, dass die eine Maschine Strom von der anderen erhält und als Elektromotor läuft.

Die Firma baut ihre selbstthätigen Ausschalter für zu schwachen Strom nach zwei verschiedenen Konstruktionen, Fig. 155 und 156. Die kleineren Schalter, Fig. 155, mit Quecksilberkontakten werden für

geringere Stromstärken, bis 200 Ampère, benutzt und vollziehen die Stromunterbrechung, wenn der Strom auf etwa 4% des Maximalwertes sinkt. Der Schalter bleibt geschlossen, solange die Anziehungskraft des vom Strome umflossenen Elektromagneten auf den drehbar gelagerten Anker, der mit dem Schließbügel und dem Griff des Apparates zusammen einen Winkelhebel bildet, das Drehmoment des Griffes überwiegt. Durch einen verstellbaren schweren Knopf kann man das Drehmoment und damit die Stromstärke in dem Moment, wo der Schalter in Funktion treten soll, genau feststellen. Die Magnetwickelung liegt bei diesem wie auch bei den folgenden Ausschaltern im Hauptstromkreis.

Für beliebige Stromstärken, geringere und höhere, kommen die selbstthätigen Ausschalter nach Fig. 156 zur Verwendung. Sie treten bei etwa 15% des maximalen Stromes in Wirksamkeit. Den Stromschluss bewirken zwei diametral gestellte Klotzbürsten. Die Spannung einer kräftigen Spiralfeder strebt die Kontakte zu öffnen, die unter der Einwirkung eines wieder als Winkelhebel ausgebildeten, mit Sperrklinke versehenen Ankers geschlossen bleiben, solange die magnetische Anziehung der Spannung einer durch den Auslöshebel gespannten, winklig gebogenen Blattfeder das Gleichgewicht hält.

Um das selbstthätige Auslösen des Apparates beim Anlassen der Maschine zu verhindern, ist unter dem Elektromagnet eine Arretierung angebracht, die von selbst herabfällt und dadurch den Anker freigibt, sobald sich dieser fest an den Magnet anlegt. Durch die Verwendung der erwähnten Spiralfeder gewinnt der Schalter eine leichte, gefällige und wenig Raum beanspruchende Form. Der Ruck, der beim Auslösen des Apparates entsteht, wird durch eine kräftige, aber doch hinreichend nachgiebige Prellfeder aufgenommen und macht sich in keiner Erschütterung des Schaltbrettes bemerkbar.

Für zu starken Strom baut obige Gesellschaft einen anderen Ausschalter. [1])

3. Gruppe.

Der Kompoundautomat der Vereinigten Elektricitäts- A.-G. vorm. B. Egger & Co. wird insbesondere für die Hintereinanderschaltung von Glühlampen verwendet und hat den Zweck, eine Glühlampe kurz zu schließen, wenn dieselbe versagt. Mittelst solcher Automaten wurde die seinerzeit (1886) noch mit großen Schwierigkeiten verbundene Hintereinanderschaltung von Glühlampen gelöst. Dieser Automat besteht aus dem Elektromagneten *M*,

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Nachrichten von Siemens & Halske A.-G. 1897, Heft 18, XII.

Fig. 157, mit einer doppelten Wickelung (Compound-Wickelung). Auf dem Eisenkerne desselben befinden sich 3 Lagen 2 *mm*-Kupferdraht und 15 Lagen 0·2 *mm* Draht, aus gleichem Materiale, von 80 Ohm Widerstand. Sämmtliche Kupferwindungen sind wohl isoliert. Der Eisenkern trägt an seinen Enden die Polansätze P_1 und P_2. Mit dem letzteren ist der Anker A, welcher das verstellbare Gewicht G trägt, durch die Drehschraube s beweglich verbunden. An dem Anker befindet sich bei c_2 der Platinkontakt. Durch die, von dem Messingstücke S isolierten, Schrauben s_1 und s_2 ist dasselbe auf den Metallkörper des Elektromagnetes, sammt dem in der Figur schraffierten Isolierstücke, aufgeschraubt. Das Messingstück S trägt einerseits die Messingfeder F und anderseits den Platinkontakt c_2. Die Schrauben s_1 und s_2 sind deshalb

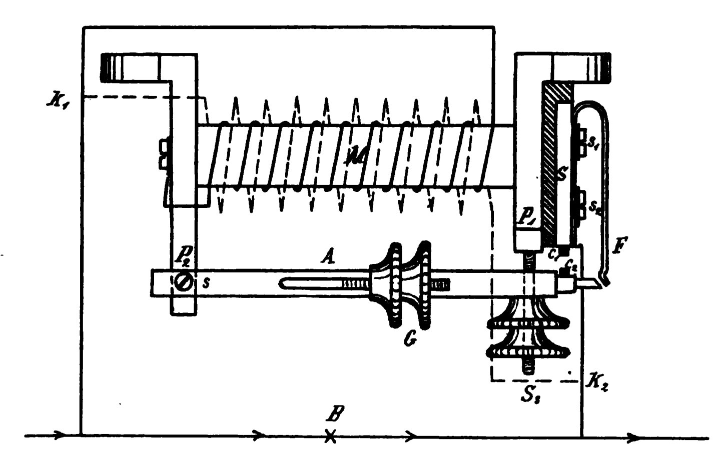


Fig. 157. Selbstschalter.

isoliert, weil sonst der Automat durch dieselben kurzgeschlossen wäre. Wenn die Lampe B brennt, fließt der Hauptstrom von dem positiven Pole der Maschine, durch die Lampe, zum negativen Pole der Maschine, während sich die dünnen Windungen (punktierte Leitung) zwischen den Klemmen k_1 und k_2 im Nebenschlusse zur Lampe befinden. Versagt die Lampe, so steigt die Spannung an den Klemmen k_1 und k_2, infolge der augenblicklichen Widerstandswirkung der Nebenschlusspule im Hauptstrome, und der Elektromagnet zieht den Anker A an, wodurch der Hauptstrom auf dem Wege durch die dicken Windungen, das Eisengestell, den Anker A, die Kontakte c_2 und c_1, das Messingstück S und die Feder F geschlossen erscheint. Die Feder F dient zur Sperrung des angezogenen Ankers.

Die in Verwendung stehenden Glühlampen haben zumeist eine Stromstärke von 5 Ampère und eine Spannung von 18 Volt; dann tritt der Automat bei 20 Volt in Thätigkeit.

Die Einstellung der Empfindlichkeit des Apparates erfolgt durch die Verschiebung des Gewichtes G und durch die Verkleinerung oder die Vergrößerung der Entfernung zwischen dem Anker und dem Polansatze P_1 des Elektromagnetes mittelst der Schraube S_3.

Der Automat in Fig. 158 und 159 hat wesentlich dieselbe Einrichtung, wie der zuletzt beschriebene. Der Anker A des Elektromagnetes E wird durch die Feder f gegen die Schraube s_3 gedrückt.

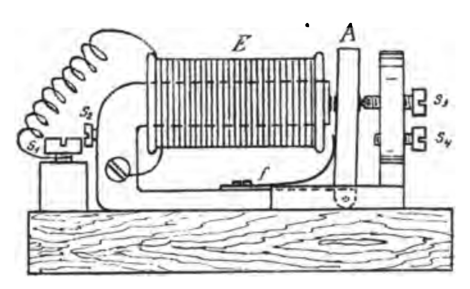


Fig. 158. Selbstschalter.

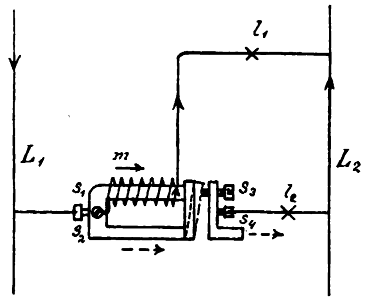


Fig. 159. Selbstschalter.

Die Schaltung dieses Automaten ist aus dem Schema, Fig. 159, ersichtlich. Glüht die Lampe l_1 normal, so fließt der Strom von der Leitung L_1 nach s_1 und dem Gestelle s_2, der Spule m nach l_1, und zurück zur Leitung L_2. Diesen Stromweg bezeichnen in der Figur die vollen Pfeile. Wenn die Lampe l_1 erlischt, so sind die Windungen des Elektromagnetes ausgeschaltet, der Anker wird von der Feder F gegen die Kontaktschraube s_3 gedrückt, und der Strom geht von der Leitung L_1 zur Schraube s_1, durch das Gestell und den Anker zur Kontaktschraube s_3, von der Schraube s_4 durch die Ersatzlampe l_2 zur Leitung L_2. Den letzteren Stromweg bezeichnen die punktierten Pfeile. Dieser Apparat findet in Räumen, in welchen sich nur eine Glühlampe befindet, deren verlässliche Thätigkeit von größter Wichtigkeit ist, Verwendung.

54. Kontrolleapparate.

1. **Wesen.** Kontrolleapparate geben selbstthätig Anzeigen der normalen, zu niederer und zu hoher Betriebsspannung, der Stromstärke, des Isolationswiderstandes des Kupfers gegen die Erde, der Thätigkeit einzelner Lampengruppen oder Lampen u. s. w.

Zur Messung von Spannungen, Stromstärken und Widerständen dienen die wissenschaftlichen und industriellen Galvanometer (I. Th. 2. B. S. 14).

2. Praktische Konstruktionen.

1. Der Spannungswecker von Siemens & Halske, Fig. 160, gibt bei zu hoher und zu niedriger Betriebsspannung ein Glockensignal und schützt in ersterem Falle den Stromkreis vor zu hoher Stromstärke, die Dynamomaschine vor starker Erwärmung und ein-

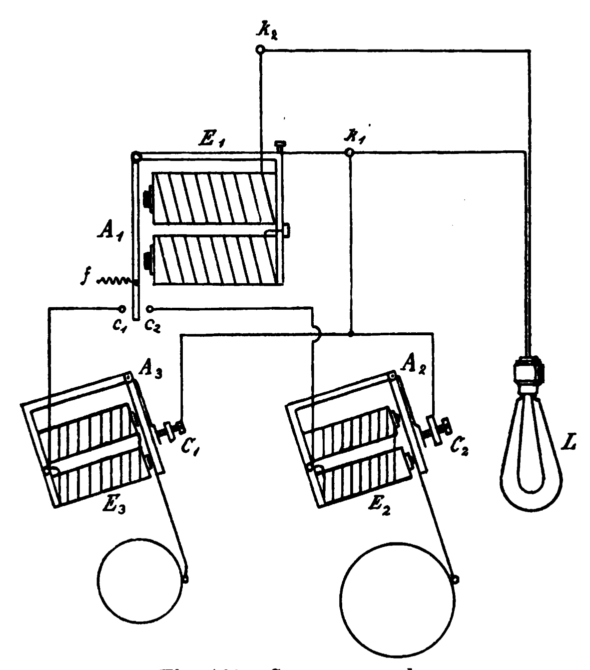


Fig. 160. Spannungswecker.

geschaltete Glühlampen vor zu hoher Spannung. Der Apparat befindet sich in einem Kästchen mit Glasthüre und besteht aus 3 Elektromagneten E_1, E_2 und E_3 sammt den Ankern A_1, A_2 und A_3. Der Elektromagnet E_1 wird an den Schrauben k_1 und k_2, wie eine Glühlampe, eingeschaltet. Die Schraube k_1 ist mit den Kontakten C_2 und C_1 verbunden und bildet zugleich den gemeinsamen Pol für die beiden Elektromagnete E_2 und E_3, deren zweiten Pol die Kontakte c_1 und c_2 angeben. Überschreitet die Betriebsspannung eine bestimmte Grenze, so zieht der Elektromagnet E_1 seinen Anker A_1 an, welcher bei c_2 Kontakt herstellt, den Stromkreis des Elektromagnetes E_2 schließt und so das größere Läutewerk in Thätigkeit setzt. Bei zu niederer Betriebsspannung bewirkt die Feder f,

durch ihre Zugkraft, die Herstellung der Berührung zwischen dem Anker A und dem Kontakte c_1, womit das kleinere Läutewerk in Thätigkeit tritt. Die beiden Tonhöhen der Glocken der Läutewerke weisen auf zu hohe oder zu niedere Betriebsspannung hin. Die Glühlampe L beleuchtet den Automaten behufs Beobachtung des Anschlagens der Glockenhämmer. Den gleichen Zweck wie dieser Wecker hat der Spannungszeiger (1. Th. 2 B. S. 51. Fig. 50).

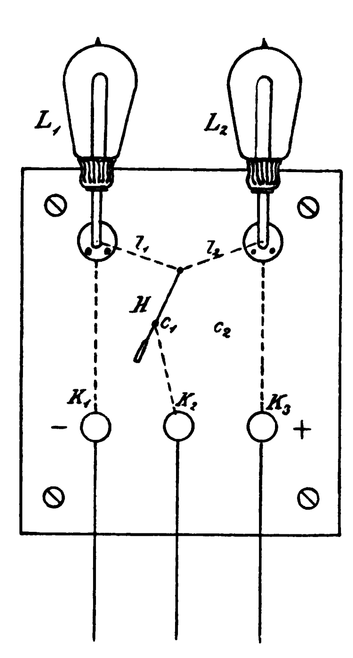


Fig. 161. Erdschlussprüfer.

2. Der Erdschlussanzeiger. Fig. 161 zeigt einen Erdschlussanzeiger einfachster Art. Auf einer isolierenden Platte sind zwei Glühlampen L_1 und L_2 aufmontiert. Bei k_1 und k_3 befinden sich die Pole der Leitung. Die beiden Lampen sind hintereinander geschaltet und brennen, falls der Hebel H auf dem Kontakte c_2 aufliegt, jede mit der halben Betriebsspannung. Ist, so wie in der gezeichneten Stellung, die Erdleitung durch den Kontakt c_1, von k_2 aus, eingeschaltet, so wird bei guter Isolation des Leitungsnetzes keine Ändernug in der Beleuchtungsstärke der beiden Lampen eintreten; hat aber z. B. der positive Pol der Leitungen Schluss mit der Erde oder ist dessen Isolation gegen die Erde unzureichend, so wird die Lampe L_1 mit voller, oder höherer als der halben, Betriebsspannung brennen. Schließt man die Drähte l_1 und l_2 direkt an die Klemme k_2, so brennt die Lampe L_1 oder L_2, je nachdem der posittive oder negative Pol Erdschluss hat.

55. Schaltbretter.

1. Zugehör. Auf den Schaltbrettern finden Platz:

1. Die Enden der Maschinenleitungen und die Anfänge der Außenleitungen. Die Verbindung dieser Leitungen besorgen Ausschalter, Umschalter, Polwechsler, Generalumschalter und Kommutatoren.

2. Messapparate (Stromzeiger, Spannungszeiger, Elektricitätszähler, Automaten u. s. w.), Signalapparate (Spannungswecker, Spannungszeiger mit Läutewerk u. s. w.).

3. Sicherungen. — In unmittelbarer Nähe der Schaltbretter, gewöhnlich unterhalb derselben, werden die Regulierwiderstände angebracht. Die Messinstrumente müssen frei sein von äußeren magnetischen Ein-

flüssen. Es finden deshalb auf den Schaltbrettern nur die sogenannten industriellen Galvanometer Platz, welche, wenn sie sich sehr nahe neben einander, oder nur auf einer Seite einer Leitung zu nahe, befinden, durch Bleche aus weichstem Eisen vor Störungen zu schützen sind.

Die Haupteigenschaften eines zweckentsprechenden Schaltbrettes sind:

1. Auf dem Schaltbrette müssen die Stromverhältnisse der Anlage leicht ersichtlich sein.

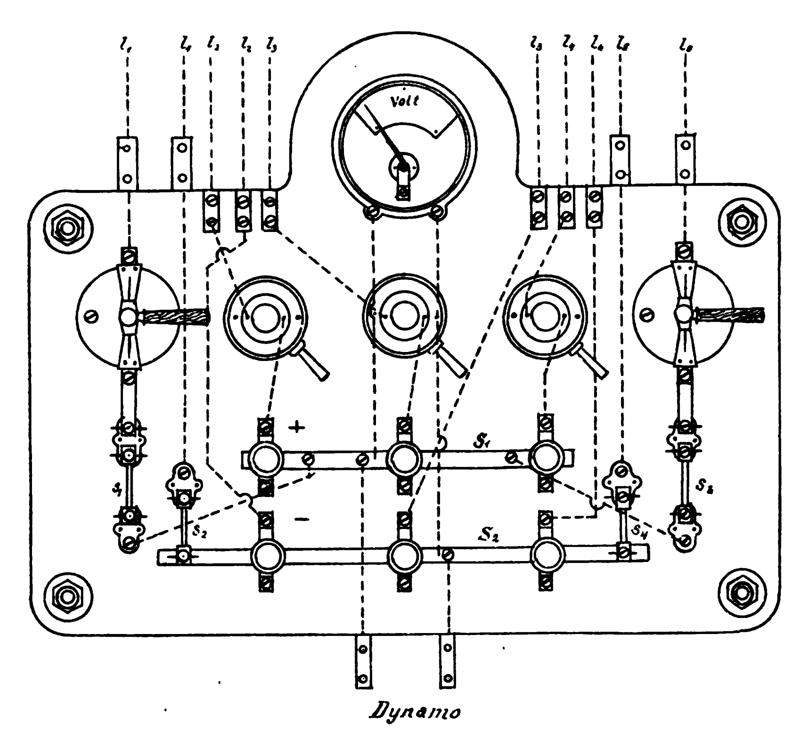


Fig. 162. Schaltbrett.

2. Das Schaltbrett muss sich an einem leicht zugänglichen Orte befinden.

3. Vom Schaltbrette aus müssen die Vorgänge in der ganzen Maschinenanlage zu überblicken sein.

4. Das Schaltbrett darf nicht feuergefährlich sein. Vorzüglich finden Marmor, Schiefer u. s. w. Verwendung.

Bei der Handhabung des Schaltbrettes ist zu beachten, dass Unrichtigkeiten in der Schaltungsweise den Maschinen, Lampen und Leitungen gefährlich werden können, während rasch ausgeführte Um-

schaltungen oft vor dem gänzlichen Versagen der Anlage schützen. Nur mit der Anlage vollkommen vertraute Personen dürfen deshalb das Schaltbrett handhaben.

2. Vertheilungsbretter. Außer den Hauptschaltbrettern im Maschinenhause finden sogenannte Vertheilungsbretter an gewissen Vertheilungspunkten Verwendung.

Schaltbrett.

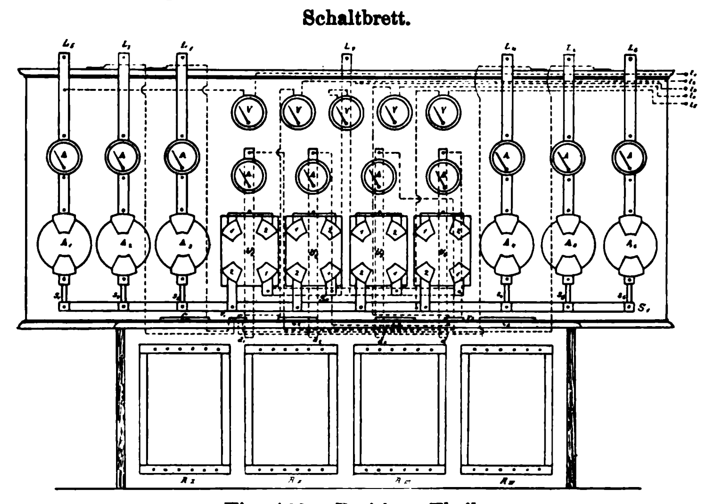


Fig. 163. Positiver Theil.

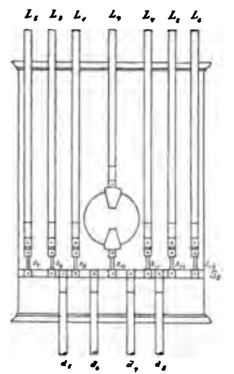


Fig. 164. Negativer Theil.

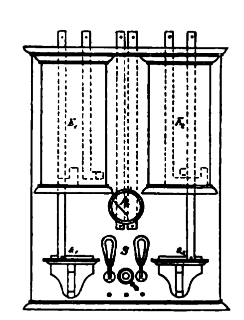


Fig. 165. Apparatenbrett.

3. Ein einfaches Schaltbrett für eine kleinere Beleuchtungsanlage mit Spannungszeiger, Ausschaltern, Sicherungen und Leitungsanschlüssen zeigt Fig. 162. Die Klemmen der Dynamomaschine sind an die Schienen S_1 und S_2 angeschlossen. Von dem Schaltbrette aus gehen die 5 Stromkreise l_1 l_1, l_2 l_2, l_3 l_3, l_4 l_4 und l_5 l_5. Die Leitungen zweigen von der einen Schiene ab, führen zu den Sicherungen, Aus-

schaltern und Lampen, und schließen an der zweiten Schiene an. Der Spannungszeiger ist an die Schienen S_1 und S_2 angelegt und misst die Spannung zwischen denselben; da bis zu den Schienen kein Spannungsverlust eintritt, so ist die Maschinenspannung der Klemmenspannung gleich. s_1, s_2, s_3 u. s. w. bezeichnen die Bleisicherungen in den positiven und negativen Leitungen.

4. **Als Hauptschaltbrett** einer großen Anlage für Beleuchtung und Kraftübertragung sei hier das im Neuen Wiener Rathhause von der Vereinigten Elektricitäts- A.-G. vorm. B. Egger & Co. aufgestellte, Fig. 163 bis 165 angeführt. Dieses Schaltbrett zerfällt in den großen mittleren Theil Fig. 163 (positiver Pol), den Theil Fig. 164 (negativer .Pol) und den Theil Fig. 165 (Apparatenbrett). Die Hauptschienen sind mit S_1 (positive Schiene), S_2 (negative Schiene) und S_3 (Kraftübertragungsschiene), die Spannungszeiger mit V, die Stromzeiger mit A, die Ausschalter mit A_1, A_2 u. s. w., die Umschalter mit U_1, U_2 u. s. w., die Magnetrheostate mit R_{I}, R_{II}, R_{III} und R_{IV}, die dazugehörigen Kommutatoren mit C_1, C_2, C_3 und C_4, die Spannungszeigerumschalter mit V_1 und V_2, die Sicherungen mit s_1, s_2 u. s. w., die Aron'schen Elektricitätszähler mit E_1 und E_2, die Automaten mit a_1 und a_2, der Erdschlussprüfer mit S, die positiven Anschlüsse der Maschinen an die Schiene S_1 mit d_1, d_2, d_3 und d_4, die negativen Anschlüsse derselben an die Schiene S_2 mit d_5, d_6, d_7 und d_8 bezeichnet. Bei der Stellung 1, 1 der Umschalterhebel sind sämmtliche Maschinen zur Beleuchtung nebeneinander geschaltet. Die Stellung der Hebel 2, 2 ermöglicht die Benützung jeder Maschine zur Krafübertragung. Vom Schaltbrette gehen sieben Leitungen aus und zwar die Lichtleitungen L_1 und L_2, die Reserveleitungen L_3 und L_4, die Sammlerleitung L_5, die Verbindungsleitung zwischen der alten und der neuen Anlage L_6 und die Kraftübertragungsleitung L_7 Die Stromzeiger befinden sich in den Hauptstrom- und Zweigleitungen. Die Spannungszeiger messen die Spannung an den Dynamomaschinen, an den Schienen, an den Licht- und Reserveleitungen, an dem Sammler und an den Kraftübertragungsschienen. Die Spannungszeigerschaltungen sind in der Figur ersichtlich. Der Spannungszeigerumschalter V_1 gestattet die Spannungen an den Licht- und Reserveleitungen, der Spannungszeigerumschalter V_2 an den Dynamomaschinen abzulesen. Die Automaten haben den Zweck, den Sammlerladestrom zu unterbrechen, wenn derselbe unter eine gewisse Grenze herabsinkt. Sie verhindern dadurch das Zurückfließen des Stromes aus dem Sammler in die Maschine während des Ladens. Die Einrichtung dieser Automaten entspricht im Wesen dem, in den Fig. 153 und 154 skizzierten, Apparate.

Der Erdschlussprüfer hat die in Fig. 161 wiedergegebene Einrichtung.

Das positive und negative Brett sind, um Schlüsse zu vermeiden, von einander getrennt.

Die 3 Theile des Schaltbrettes sind nebeneinander angeordnet. Fig. 163 bildet den mittleren, Fig. 164 den linken und Fig. 165 den rechten Theil. Die Spannungsleitungen l_1, l_2 u. s. w. schließen an die negativen Schienen an. Die Umschalter U_1, U_2 u. s. w., sowie die Ausschalter A_1, A_2 u. s. w. sind für Stromstärken bis 600 Ampère bemessen.

Die Spannungszeiger haben Skalen von 50—120 Volt und zeigen, sowie die Stromzeiger, an der Gebrauchsgrenze die weiteste Theilung. Die Betriebsspannung beträgt 100 Volt. Die Magnetrheostate R_{I}, R_{II} u. s. w. bestehen aus Neusilberdrähten von je 50 Ohm Widerstand, welche auf Eisenrahmen, durch Porzellanrollen isoliert, aufmontiert sind. Diese Widerstände befinden sich in einem Kasten, welcher zur Herstellung einer guten Durchlüftung der Drähte auf der Rückseite frei, auf der Vorderwand und den Seitenwänden mit durchbrochenem Bleche versehen ist.

Außer diesem Brette enthält die genannte Licht- und Kraftanlage Vertheilungsbretter sowohl für die Beleuchtung, als auch für die Kraftübertragung. Die letzteren Bretter enthalten zumeist Ausschalter, sowie Sicherungen, zeigen an Messinstrumenten (Strom- und Spannungszeiger) die Stromverhältnisse in den verschiedenen Licht- und Kraftstromkreisen an, ermöglichen so das Ein- und Ausschalten und die Kontrolle der Isolation derselben von gewissen Kontrollestellen aus.

VI. Kapitel.

Leitungen.

56. Leitungsmateriale. Blanke Drähte werden im Freien, in geschlossenen Räumen nur selten und fast immer nur bei Spannungen bis zu höchstens 100 Volt verwendet. Fälle, in welchen blanke Leitungen verlegt werden können, sind die Verlegung der Leitungen in sehr feuchten Räumen oder in solchen Räumen, welche nur Fachkundigen zugänglich sind oder die Verlegung der Hauptleitungen; in dem letzten Falle werden die Abzweigungen mit baumwollumsponnenen Drähten ausgeführt. Zumeist finden in geschlossenen Räumen isolierte Leitungen Verwendung. Die wichtigsten Arten der Isolation sind:

1. Isolationshüllen, das sind Umspinnungen, beziehungsweise Umklöppelungen mit Jute, Hanf, Baumwolle, Leinenzwirn, Seide u. s. w.,

welche zumeist mittelst Wachs, Theer oder Asphalt getränkt sind. Drähte, mit dieser Isolation versehen, eignen sich für trockene Räume.

2. Das Tränken der Isolationshüllen mit Isolierflüssigkeit (bestehend aus Theer, Harz, Wachs, Pech, Guttapercha, Kautschuk, Stearin, Paraffin u. s. w.) soll die Kupferseele vor Feuchtigkeit (insbesondere Wasser) schützen.

3. Asphalt wirkt den chemischen Agentien (Kalk, Cement, organische und anorganische Säuren) im Erdboden entgegen. In Kloaken und Düngstätten z. B. bildet sich infolge von Ammoniakentwickelung Salpetersäure, in humusreichem Boden ist das Auftreten organischer Säuren zu befürchten. Getheerte und asphaltierte Jute bleibt auch von den Nagethieren verschont.

4. Sand. Asphalt mit Sand vermischt wird erfolgreich gegen die Beschädigung der Kabel durch Thiere im Meere verwendet.

5. Papiermasse. Interior Conduit and Insulation Company in New-York[1]) haben zuerst Röhren aus Papiermasse zur Aufnahme von Leitungen hergestellt.

6. Asbest ist äußerst hygroskopisch und kann deshalb leicht Feuchtigkeitsschlüsse verursachen. Die Verwendung desselben beschränkt sich auf sehr heiße oder feuergefährliche Räume.

7. Guttapercha heißt eine Gummiart, welche aus einem Baume (Isonandra gutta), vornehmlich im südlichen Asien vorkommend, gewonnen wird. Guttapercha ist für Wasser undurchdringlich und dient deshalb zur Herstellung von Isolationshüllen solcher Leitungen, die in sehr feuchten Räumen oder unter Wasser verlegt werden müssen.

8. Kautschuk stammt hauptsächlich aus Brasilien und Guyana, woselbst er sich in dem Safte mehrerer Pflanzen (namentlich in jenem der Evea Guyanensis) vorfindet. Kautschuk schmilzt erst bei 145° *C*, verändert sich wenig an der Luft, wenn er mit Schwefel imprägniert (vulkanisiert) wurde. Kautschuk nimmt unter Druck bis zu 25% Wasser auf und muss deshalb für unterseeische Leiter mit Mischungen aus Guttapercha, Harz u. s. w. präpariert werden. Bevor man die blanken Leitungen aus Kupfer und Kautschuk überzieht, muss man dieselben verzinnen, weil sich sonst der Schwefel des Kautschuks mit dem Kupfer verbindet.

9. Blei. Mit Blei umgepresste Kabel sind gegen Temperatureinflüsse unempfindlich. Die Dicke des Bleimantels beträgt 1 bis 3 *mm*. Die Umpressung der Kabel mit Blei kann erfolgen:

a) Auf heißem Wege. Diese Mäntel werden auch zwei- oder dreifach angewendet, damit die undichten Stellen des einen, von den

[1]) F. Uppenborn, Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin 1891, Heft 17.

dichten Stellen des anderen gedeckt werden; sie sind in beliebigen Längen herstellbar.

b) Auf kaltem Wege. Solche Kabel wurden von der Firma Siemens & Halske in Wien, Berlin, London und Petersburg erzeugt. Der auf das Blei in Bleipressen ausgeübte Druck betrug 3000 Atmosphären.

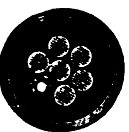


Fig. 166. Bleikabel.

Fig. 166 gibt ein blankes Bleikabel mit Prüfdraht für Gleichstrom wieder. Dasselbe besteht aus einem Kupferleiter (Litze," sechs Drähte) einer Isolierschicht und einem Bleimantel. Sammt einer Kompoundschicht aus getheertem Gespinst erhält es die Bezeichnung „kompound“. Das Kabel ist vollständig armiert (Panzerkabel), wenn noch zwei Lagen Eisenband oder verzinkter Eisendraht hinzukommen.

Bleikabel können nur dort, wo dieselben vor mechanischen Beschädigungen und chemischen Zersetzungen geschützt sind, die folgenden Kabel mit Eisenbandarmatur dagegen überall Verwendung finden.



Fig. 167. Koncentrisches Panzerkabel.

10. Eisenbandarmatur. Den sichersten Schutz vor mechanischen Beschädigungen bietet eine Umwickelung der Kabel mit doppelten Eisenbändern, welche so aufgewickelt werden, dass sie sich nicht vollständig decken.

Ein koncentrisches Panzerkabel für hohe Spannungen von Felten & Guilleaume veranschaulichen Fig. 167 und 168.

Bezeichnungen:

a = Innerer Kupferleiter.
b = Isolierschicht.

c = Bleimantel.
d = Äußerer Kupferleiter.
e = Äußere Isolierhülle.
f = Zwei Lagen Blei.
g = Zwei Lagen Eisenband.

11. Verzinnte Eisendrahtarmatur. Kabel, welche hohen Zugkräften ausgesetzt sind, werden am besten mit verzinnten Eisen drähten umflochten.

Die Verlegung der, mit den unter 9, 10 und 11 erwähnten Isolationen versehenen, Leitungen erscheint, schon der Kosten wegen, in geschlossenen Räumen ausgeschlossen und soll erst bei den unterirdischen Leitungen besprochen werden.

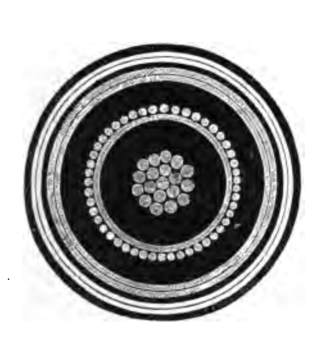


Fig. 168. Koncentrisches Panzerkabel. Schnitt.

Fig. 169. Doppelkabel.

Die Fig. 169 bis 171 bringen verseilte Kabel der Siemens & Halske A.-G. Fig. 169 zeigt ein verseiltes Doppelkabel.

Bezeichnungen:
1. Isolation.
2. Bleimantel.
3. Isolation.
4. Verzinkte Eisendrähte.

Je eine Gruppe von weißen Punkten im Innern der Figur stellt einen litzenförmigen Leiter dar.

Fig. 170 gibt ein verseiltes Vierfachkabel derselben Firma für Zweigphasenstrom wieder. Je zwei im Kreise nicht unmittelbar aufeinanderfolgende Leiter gehören einer Phase an. Im Übrigen gelten die Bezeichnungen der letzten Figur.

Fig. 171 veranschaulicht ein verseiltes Dreifachkabel der Siemens & Halske A.-G. für das Dreileitersystem und für Drehstrom. Auch diese Figur erklären die obigen Bezeichnungen der Fig. 169.

57. Die Fabrikation der Bleikabel. Die folgende Beschreibung betrifft die Patent-Bleikabel der Siemens & Halske A.-G.[1])

Das von dieser Firma zur Herstellung ihrer Patent-Bleikabel angewendete Verfahren besteht erstens in der Bespinnung des Leiters mit Jute oder Baumwollfaser von wechselnder Stärke, zweitens in der absoluten, unter Anwendung der Luftleere erzielten Trocknung der Bespinnung, drittens in der Tränkung der letzteren mit einer besonderen Isoliermasse, und endlich viertens in der auf warmem Wege ausgeführten Umpressung der so erzeugten Isolierschicht mit einem vollkommen wasserdichten Bleimantel.

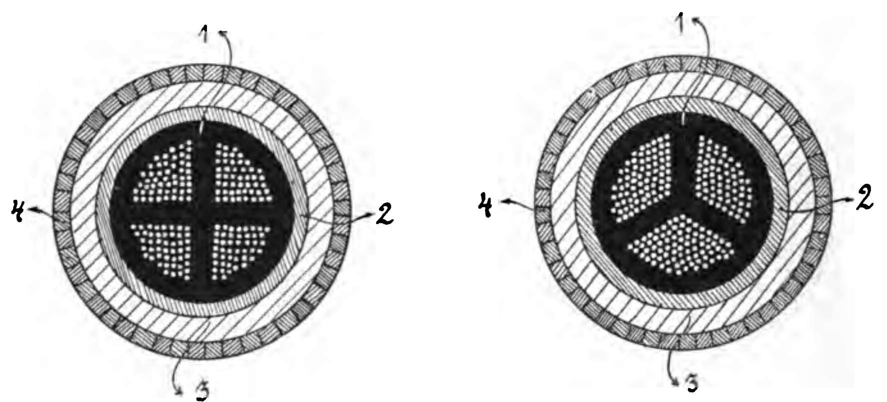


Fig. 170. Vierfachkabel. Fig. 171. Dreifachkabel.

Mit der Vermehrung der Fabrikationsmittel hat die Vervollkommnung der Darstellungsweise Schritt gehalten. Die Verbesserungen bestehen sowohl in der Erhöhung des elektrischen Wertes der Patent-Bleikabel, als auch in der Anwendung von vollkommeneren Schutzhüllen für den Bleimantel, wie endlich in der erheblichen Vergrößerung des Querschnittes der verwendeten Kupferleiter. Anfänglich war der größte zu umpressende Kupferquerschnitt 117 *mm*², heute ist die obige Firma im Stande, einen solchen von über 1000 *mm*² zu verwenden, und dadurch in der Lage, den stark gesteigerten Ansprüchen zu genügen, welche durch die Centralstationen an die Kabelfabrikation gestellt werden.

Das zur Zeit der Einführung der Patent-Bleikabel hie und da geäußerte Bedenken, betreffend die Ausdauer des Bleies gegen die Einwirkung der chemischen Agentien im Erdboden, hat sich durch Dauerversuche als völlig unbegründet erwiesen. Es stellte sich heraus, dass schon die anfänglich angewendete Asphaltierung ein ausreichender Schutz

[1]) Nach einer Drucksorte dieser Firma.

der Bleihülle gegen derartige Einflüsse bildete; durch diese Asphaltmasse ist die Sicherheit noch vermehrt und die Gefahr der mechanischen Verletzung des Bleimantels, durch Verwendung des Bandeisens an Stelle des Eisendrahtes zur Armatur, auf das denkbar geringste Maß zurückgeführt worden.

Als Bestandtheile der Patent-Bleikabel sind zu nennen:

1. Der Kupferleiter.
2. Die Isolationsschicht.
3. Der Bleimantel.
4. Die äußere Schutzhülle.

Die Kupferleiter werden entweder aus einem einzelnen Drahte als massive Leiter, oder aus mehreren Drähten als litzenförmige Leiter hergestellt. Zu den Querschnitten bis 25 mm^2 finden in der Regel massive Leiter, zu den stärkeren bis zu 1000 mm^2 gehenden Querschnitten jedoch ausnahmslos litzenförmige Leiter Verwendung. Auf Wunsch des Bestellers und sonst nöthigenfalls werden auch zu den Querschnitten unter 25 mm^2 litzenförmige Leiter zu den Patent-Bleikabeln in Anwendung gebracht.

Die Patent-Bleikabel mit Kupferleitern über 50 mm^2 führen in der äußeren Drahtlage des Leiters einen isolierten Mess- oder Prüfdraht. Diese von der Firma eingeführte Vorrichtung hat hauptsächlich den Zweck, die Spannungen an den Stellen, an welchen sich die Vertheilungsleitungen an die Hauptleitungen anschließen, zu kontrolieren und nöthigenfalls den Isolationszustand der Kabel zu prüfen.

Sämmtliche zur Anfertigung der Kupferleiter verwendeten Kupferdrähte werden aus nahezu chemisch reinem Kupfer hergestellt und vor ihrer Verwendung einer sorgfältigen Prüfung auf Leitungsfähigkeit, Form, Gewicht u. s. w. unterzogen, so dass die Firma die Garantie für die Innehaltung des, dem betreffenden Querschnitte entsprechenden Leitungswiderstandes, innerhalb der statthaften Grenzen von 5%, annimmt. Zur Bezeichnung der Patent-Bleikabel dienen die den Querschnitt des Kupferleiters angebenden Zahlen, denen, je nach der Gattung der Kabel, gewisse Zeichen vorgesetzt werden. Da die Firma für 1 mm^2 Kupferquerschnitt und 1000 m Länge einen Leitungswiderstand von 16·5 Ohm bei 0° C ($C = 0·0165$) garantiert, so ist es leicht, aus der Fabriksnummer der Patent-Bleikabel den Leitungswiderstand derselben abzuleiten. Bei den Patent-Blei-Doppelkabeln, welche mit den die Summe der Querschnitte beider Leiter ausdrückenden Zahlen bezeichnet werden, ist hiernach der sich aus dieser Zahl ergebende Leitungswiderstand mit 2 zu multiplizieren, um denjenigen der einzelnen Leitung zu finden. Von der Ansicht ausgehend, dass für die meisten Fälle

eine gewisse Abstufung von Querschnitten ausreichend ist, hat die Firma unter dem Namen Normalquerschnitte zwei Reihen zusammengestellt, die sie der Fabrikation ihrer Patent-Bleikabel und sonstigen, hauptsächlich zu Beleuchtungszwecken dienenden Leitungen zu Grunde legt. Die erste dieser Reihen setzt sich aus den Kupferquerschnitten bis 95 mm^2 zusammen und dient einem Theil der Patent-Bleikabel, sowie den übrigen Normalleitungen als Grundlage. Die zweite Reihe umfasst die Querschnitte über 95 bis 1000 mm^2. Beide Reihen enthalten bestimmte Abstufungen, jedoch findet die Verwendung anderer Querschnitte selbstverständlich nöthigenfalls statt.

Die Isolationsschicht der Patent-Bleikabel wird in der bereits angedeuteten Weise hergestellt. Durch dieses Verfahren erzielt man eine ebenso hohe als auch sichere Isolation, welche auch durch starke Temperaturveränderungen nicht wesentlich leidet. In dieser Beziehung bietet die Isolationsart der Patent-Bleikabel einen wesentlichen, nicht zu unterschätzenden Vortheil gegenüber der Isolation durch Guttapercha oder Gummi, während sie in Bezug auf Ladungskapacität der letzteren nicht nachsteht. Bei dem heutigen Stande der Elektrotechnik schwankt die Beanspruchung der Kabel auf Spannung in ziemlich weiten Grenzen. Die Firma hat daher die Konstruktion der Patent-Bleikabel diesen wechselnden Ansprüchen nicht nur durch entsprechend gewählte Stärke der Isolationsschichten, sondern auch durch die Verwendung einer neuartigen Isolationsmasse bei hohen Spannungen, angepasst.

Siemens & Halske fertigen nunmehr die Patent-Bleikabel für folgende Spannungen an:

1. Niedrige Spannungen bis 250 Volt die sogenannten „Installationskabel" mit der Bezeichnung „I".

2. Mittlere Spannungen bis 2000 Volt Gleichstrom oder Wechselstrom.

3. Hohe Spannungen bis 10.000 Volt Wechselstrom.

Wenn aber auch die Patent-Bleikabel gegen die in Betracht kommenden Temperatureinflüsse beinahe unempfindlich sind, so wirken doch Nässe und Feuchtigkeit schädlich auf deren Isolation ein. Es muss daher die Isolationsschicht sorgfältig vor derartigen Einflüssen geschützt werden. Diesen Schutz gewährt der Bleimantel, welcher mittelst Pressung in dem Augenblicke, wo die Kabelseele aus der heißflüssigen Tränkmasse tritt, um die Isolationsschicht gelegt wird. Die Wandstärke des röhrenförmigen Bleimantels beträgt, je nach der Stärke des Bleikabels 1 bis 3 *mm*. Ein Haupterfordernis ist die absolute Dichtigkeit des Bleimantels, denn die kleinste Öffnung in demselben schädigt die Isolationsfähigkeit des Kabels. Jedes Patent-Bleikabel wird daher vor einer weiteren Verarbei-

tung, beziehungsweise Verwendung, gleich nachdem es die Presse verlassen hat, unter Wasser einer elektrischen Prüfung auf Isolation und Leitungswiderstand unterzogen. Fällt die Prüfung gut aus, so ist damit die vollkommene Dichtigkeit des Bleimantels erwiesen, da jede, auch die kleinste Öffnung in demselben das Eindringen des Wassers in das Kabel und den sofortigen Abfall des Isolationswiderstandes zur Folge hat. Das angewendete Pressverfahren bietet vollkommene Sicherheit in der Herstellung eines tadellosen, d. h. gleichmäßig starken und zur Seele koncentrischen, namentlich aber vollkommen dichten Bleimantels und macht die Anwendung von zwei Bleiüberzügen überflüssig, so dass die Kabel leichter, mithin in ihrer Herstellung und beim Transport billiger werden, sowie unbestreitbar den Vorzug vor solchen Kabeln verdienen bei denen zwei undichte Bleimäntel einen absolut dichten ersetzen sollen.

Vor ihrer weiteren Verarbeitung unterwirft man die Patent-Bleikabel einer Spannungsprobe, bei welcher man die vorgeschriebene Spannung nicht unwesentlich überschreitet.

Die Weichheit des Bleies und seine chemischen Eigenschaften bedingen, dass die Patent-Bleikabel, je nach den Örtlichkeiten ihrer Verwendung, mit einer entsprechenden Schutzhülle versehen werden müssen, weshalb dieselben in vier Formen zur Ausführung gelangen:

1. Blanke Patent-Bleikabel, ohne jede Umhüllung mit der Bezeichnung *KB*.

2. Asphaltierte Patent-Bleikabel, mit einer Umhüllung, bestehend aus einer Umspinnung mit imprägnierter Jute, die zwischen Asphaltlagen (deren erste direkt auf das Blei aufgetragen ist) gebettet erscheint. Diese Kabel werden mit *KA* bezeichnet.

3. Drahtarmierte Patent-Bleikabel, bei welchen das blanke Kabel eine zwischen Jute und Asphalt gebettete Armierung von verzinkten Eisendrähten umgibt. Die letzteren sind entweder als Rund- oder besonders geformte Drähte (*KFEA*) (4), Fig. 169 bis 171, welche vermöge ihrer Querschnittsform sich so aneinanderlegen, dass sie in Form eines Cylinders angeordnet erscheinen, welchen das Kabel schützend einhüllt. Diese Armierung ist entweder eine geschlossene, wenn sich die einzelnen Drähte derselben berühren (mit der Bezeichnung *KEEA*) oder über Verlangen eine offene, wenn die Anzahl der Armaturdrähte so gering ist, dass sich die Drähte nicht berühren (mit der Bezeichnung *KEA*). Die geschlossene Armatur findet Anwendung bei den Bleikabeln geringeren Durchmessers (bei Telephonkabeln auch größeren Durchmessers), sowie dann, wenn das Kabel eine größere Zugfestigkeit haben soll. Die offene Armatur gewährt dem Kabel nur einen leichteren Schutz gegen mechanische Verletzungen.

4. Bandarmierte Patent-Bleikabel, bei welchen das blanke Kabel zwei, zwischen Jute und Asphalt gebettete, Lagen Bandeisen umgeben. Diese Kabel werden mit *KBA* bezeichnet. Die Anordnung der Bandeisenlagen macht die Kabel keineswegs unbiegsam. Beide Eisenbänder legen sich mit gleichem Drall um das, nach dem unter 2 beschriebenen Verfahren asphaltierte, Bleikabel in offenen Spiralen, so dass die eine Bandeisenlage die offenen Spalten der Umwindungen der unteren Bandeisenspirale deckt. Auf diese Weise bleibt die Armatur vollständig biegsam. Über die Bandeisenlagen wird wiederum ein Überzug von Jute und Asphalt gelegt, um einen rostsicheren Schutz für das Eisen zu erhalten. Der Vorzug dieser Armatur vor derjenigen aus Eisendrähten besteht darin, dass bei der letzteren zwischen je zwei Drähten stets eine, wenn auch noch so feine Ritze also gewissermaßen eine offene Stelle sich befindet, in die das Eindringen eines spitzen oder scharfen Gegenstandes ziemlich leicht stattfinden kann, während die Bandarmatur eine völlig geschlossene Umhüllung bildet, deren glatte, abgerundete Oberfläche das Abgleiten eines Hiebes befördert. Das Eindringen eines spitzen oder scharfen Gegenstandes in die Bandarmatur wurde, wie Versuche erwiesen haben, fast unmöglich; denn es gelang nicht leicht, durch von kräftiger und geübter Hand ausgeführte Hiebe mit der Spitzhacke die Bandarmatur zu durchschlagen. Das Angeführte soll indessen nicht die Behauptung einschließen, dass die Drahtarmatur vollständig zu verwerfen sei. Lokale Verhältnisse können die Anwendung der letzteren, entweder für sich allein oder in Verbindung mit der Bandarmatur, erforderlich machen. Es wird dies überall da der Fall sein, wo ein Kabel einer bedeutenden Zugkraft unterliegt, welcher gegenüber die Bandarmatur als nicht ausreichend erscheint.

Die Asphaltierung hat den Zweck, den Bleimantel und das Eisen vor der Einwirkung chemischer Agentien zu schützen, in befriedigendster Weise erfüllt. Es liegen Proben vor, die von Patent-Bleikabeln entnommen sind, welche Jahre hindurch in einem Erdboden lagen, der alle die Zerstörung des Bleies herbeiführenden Bedingungen vereinigte. An diesen Proben ist nicht die geringste Spur einer Oxydation des Bleies oder Verrottung der Jute zu ersehen. Auch dafür, dass die Asphaltierung das Eisen ausreichend schützt, liegen hinlängliche Beweise vor. Das Blei asphaltierter Bleikabel wurde, der Einwirkung von Kalk, Cement, organischen und anorganischen Säuren versuchsweise längere Zeit hindurch ausgesetzt, nicht angegriffen. Nur Essigsäure, koncentrierte Salpeter- und Schwefelsäure lösen das Blei. Hierdurch erscheint die Haltbarkeit der Patent-Bleikabel zur Genüge bewiesen; es ist aber außerdem für die Haltbarkeit und Dauer der Siemens & Halske-

schen Patent-Bleikabel noch dadurch der überzeugende Beweis geliefert worden, dass dieselben theils bei größeren und kleineren elektrischen Beleuchtungsanlagen in Städten, Bergwerken, Fabriken aller Art und Häusern, theils zu Kraftübertragungen, theils zu Telegraphen- und Telephonleitungen in den verschiedensten Klimaten seit Jahren ohne Störung thätig sind.

Der Umstand, dass elektrische Beleuchtungsanlagen zwei Leitungen, die eine für den Hingang und die andere für den Rückgang des Stromes erfordern, hat bei Wechselstrom dazu geführt, beide Leitungen in einem Kabel zu vereinigen und somit „Patent-Blei-Doppelkabel“ zu konstruieren. Wie bei den einfachen Patent-Bleikabeln die Kupferquerschnitte zweier zusammengehöriger Kabelstränge gleich sind, so sind auch die beiden in einem Patent-Blei-Doppelkabel vereinigten Leiter elektrisch gleichwertig. Die beiden Leitungen werden koncentrisch oder nebeneinander angeordnet. Die innere Leitung eines konzentrischen Kabels enthält entweder einen massiven oder einen litzenförmigen Kupferleiter, die äußere besteht stets aus einer größeren oder geringeren Anzahl, spiralförmig um die Isolationsschicht der inneren Leitung sich legender, Kupferdrähte. Man strebt dahin, den äußeren Leiter so zusammenzusetzen, dass die Drähte im Querschnitt einen geschlossenen Ring bilden, jedoch ist dies nicht in allen Fällen zu erreichen. Wie die einfachen Patent-Bleikabel, werden auch die koncentrischen Patent-Blei-Doppelkabel entweder mit oder ohne Prüfdrähte angefertigt, und es gelten hierbei für beide Kabelsorten die gleichen Grundsätze. Finden Prüfdrähte Verwendung, so erhält jede Leitung einen solchen, und es muss dann selbstverständlich der innere Leiter ebenfalls litzenförmig sein. Auch in Bezug auf die Isolationsschichten gelten für die Patent-Doppelkabel die bei den einfachen Kabeln üblichen Unterscheidungen, indem die Stärken der Isolierschichten den hinsichtlich der Spannung an die Kabel gestellten Anforderungen entsprechend gewählt werden. Die Patent-Blei-Doppelkabel besitzen den einfachen Kabeln gegenüber gewisse, nicht unerhebliche Vortheile. Zunächst sind sie relativ billiger in der Herstellung, was besonders bei den asphaltierten und bandarmierten Kabeln zur Geltung kommt. Ferner ist das Gewicht eines Doppelkabels naturgemäß weit geringer als dasjenige zweier, das Doppelkabel ersetzender, einfacher Kabel, wodurch sowohl die Verpackungs- als auch die Transportkosten wesentlich verringert werden. Auch vereinfachen die Doppelkabel die Verlegungsarbeiten, verringern deren Kosten und gewähren eine leichtere Übersicht der Leitungen eines Netzes. Bei Sendungen nach dem Auslande wird oft das Gewicht der Verpackung dem zu verzollenden Kabelgewicht hinzugerechnet; durch

die Verminderung der Tara erspart man daher bei den Patent-Blei-Doppelkabeln nicht unerheblich an Zöllen. Für elektrische Beleuchtungsanlagen mit Wechselstrombetrieb sind diese armierten Doppelkabel aus dem folgenden Grunde von vorzüglichem Werte: Bei der Verwendung einfacher armierter Kabel wird auf die Eisenarmierung durch die Wechselströme ein beständiger magnetisierender Einfluss ausgeübt und so durch die dabei erzeugte elektromotorische Gegenkraft ein so beträchtlicher Stromverlust herbeigeführt, dass die Eisenarmierung solcher Kabel als unzulässig erscheint. Bei den koncentrischen Patent-Doppelkabeln von Siemens & Halske kann jedoch eine derartige Magnetisierung, da sich die Wirkungen der einzelnen Leiter aufheben, gar nicht zu Stande kommen.

Hierin sowohl als auch in dem Umstand, dass keine Induktionswirkung durch etwa benachbarte Theile vorhanden ist, liegt der bedeutende Vorzug der koncentrischen Doppelkabel, deren Fabrikation bereits zu einer solchen Vollkommenheit gediehen ist, dass die Isolation unter Wasser bei Null Grad Temperatur 10000 Millionen Ohm beträgt und man mit Sicherheit darauf rechnen kann, nach der Verlegung an Ort und Stelle, unter Berücksichtigung der durch die Verbindungen hervorgerufenen Isolationsbeeinträchtigungen, 1000 Millionen Ohm für 1 *km* zu erreichen.

Für Drehstrom werden dreifach verseilte Kabel, Fig. 171, angewendet. Bei verseilten Kabeln, Fig. 169 bis 171, sind die Kupferquerschnitte von einer halbkreisförmigen Form, wodurch das Kabel bei gleicher Leistung einen geringeren Durchmesser erhält. In Lichtbetrieben findet zumeist Drehstrom Verwendung. Dort sind die Querschnitte der Kabel nicht so stark als in Bahnbetrieben.

Die Wiederholung des Obigen führt zu der folgende Zusammenstellung der von Siemens & Halske hergestellten Patent-Bleikabel:

I. Einfache Patent-Bleikabel, kurz „Patent-Bleikabel“ genannt, und zwar:

Patent-Bleikabel, blank *KB*; asphaltiert *KA*; *KEEA* mit Runddrahtarmatur; *KFEA* mit Façon- oder Flachdrahtarmatur bandarmiert *KBA*.

a) Kabel für niedrige Spannungen bis 250 Volt, Installationskabel mit der Bezeichnung „*I*“, ohne Prüfdraht.

b) Kabel für mittlere Spannungen bis 2000 Volt Gleichstrom, mit Prüfdraht.

c) Kabel für hohe Spannungen bis 10000 Volt Wechselstrom, mit Prüfdraht.

II. Patent-Blei-Doppelkabel, blank *KB*; asphaltiert *KA*; bandarmiert *KBA*;

Patent-Blei-Doppelkabel mit oder ohne Prüfdraht:

a) Kabel für Spannungen bis 500 Volt Wechselstrom.

b) Kabel für Spannungen bis 2000 Volt Wechselstrom, in der Fabrik mit 3000 Volt probiert.

c) Kabel für Spannungen bis 3000 Volt Wechselstrom, in der Fabrik bis 5000 Volt probiert.

III. Dreifache-Patent-Bleikabel für Spannungen von 500, 1000, 2000, 3000 Volt Wechselstrom, mit oder ohne Prüfdrähte.

Neben den Telegraphenkabeln bilden die Telephonkabeln eine besonders wichtige Gattung der Patent-Bleikabel, indem bei denselben die zu dieser Verwendungsweise verlangte, vollständige Beseitigung der Induktion herbeigeführt ist. Bei den Telephonkabeln sind bis zu 480 einzelne, von einander isolierte Leitungen mit der gemeinsamen Bleihülle umgeben.

Durch die Verwendung der unter 1 a angeführten Patent-Bleikabel von 1·0, 1·5, 2·5 Kupferquerschnitt zu ein- und mehradrigen Kabeln (bei letzteren werden die einzelnen Kabel vor der Asphaltierung, beziehungsweise Band- oder Drahtarmierung verseilt) entstehen drei Reihen von ein-, zwei-, drei-, vier-, fünf-, sechs- und siebenadrigen zu Telegraphenzwecken bestimmten und vielfach verwendeten Patent-Bleikabeln, welche bei gleich ausgezeichneten, diesem Zwecke entsprechenden elektrischen Eigenschaften weit wohlfeiler und nicht minder dauerhaft sind, als die Guttapercha- und Gummikabel.

Im Vorstehenden wurde die Nothwendigkeit hervorgehoben, die Isolierhülle der Patent-Bleikabel vor Feuchtigkeit zu schützen, und gesagt, dass dies durch den Bleimantel zu erreichen ist. Da aber an den Enden der Kabel die Kupferleiter und die Isolierhüllen aus den Bleirohren heraustreten, so erhält die Feuchtigkeit an diesen Stellen freien Zutritt zu der Isolierschicht, wenn dieses nicht durch besondere Vorrichtungen verhütet wird. Diese Vorrichtungen bestehen aus den Endverschlüssen, deren Konstruktion nach der Art der mit ihnen zu versehenden Kabel sehr verschieden ist. Über die Verwendung der Endverschlüsse genügt für den vorliegenden Zweck eine allgemeine Übersicht. Es sind folgende Klassen zu unterscheiden:

1. Endverschlüsse zu den Patent-Bleikabeln ohne Prüfdraht und mit massiven Leitern für Hausanschlüsse.

Dieselben bestehen aus dem präpariertem Papierrohr mit Hartgummibüchse (7), Fig. 172 a, einem Glasstöpsel (2) und der Isolier-

masse (3). Zur Abdichtung zwischen Kabel und Papierrohr findet Juteband Verwendung.

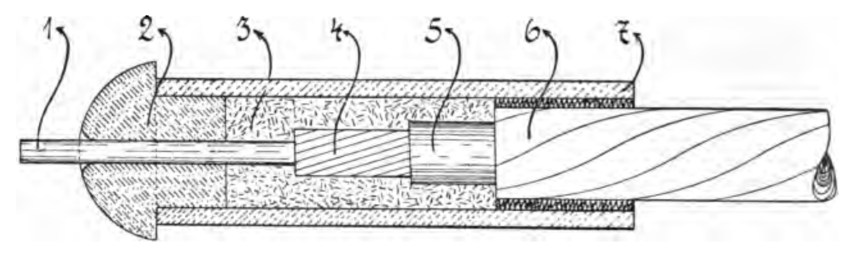


Fig. 172 *a*. Endverschluss.

In Fig. 172 a bezeichnen:

(1) Blanker Kupferdraht.
(2) Glasstöpsel.
(3) Isoliermasse.
(4) Isolation.
(5) Bleimantel.
(6) Isolation (Armatur).
(7) Papierrohr mit Hartgummibüchse.



Fig. 172 *b*. Endverschlüsse. Fig. 173.

Fig. 172 b veranschaulicht ein perspektivisches Bild desselben Endverschlusses.

Fig. 173 zeigt einen Endverschluss für Massiv- und Litzenleiter.

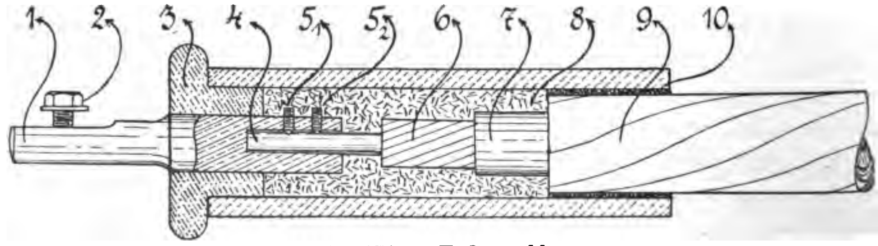


Fig. 174 *a*. Endverschluss.

II. Endverschlüsse für Schaltbretter ohne Prüfdraht für Einfachkabel, bestehend aus einem auf das Kabelende (4), Fig. 174 a aufzumontierenden cylindrischen Metallstück (1) mit Klemmschraube (2), über welches ein präpariertes Papierrohr mit Hartgummibüchse (10) geschoben wird.

Für die Fig. 174 a gelten die folgenden Bezeichnungen:

(1) Cylindrisches Metallstück.
(2) Schraube zum Anschluss an das Schaltbrett.
(3) Glasstöpsel.
(4) Blanker Kupferdraht.
(5_1) und (5_2) Schrauben.
(6) Isolation.
(7) Bleimantel.
(8) Isoliermasse.
(9) Isolation (Armatur).
(10) Papierrohr.

Fig. 174 b zeigt ein perspektivisches Bild eines solchen Endverschlusses.



Fig. 174 *b*. Endverschluss.

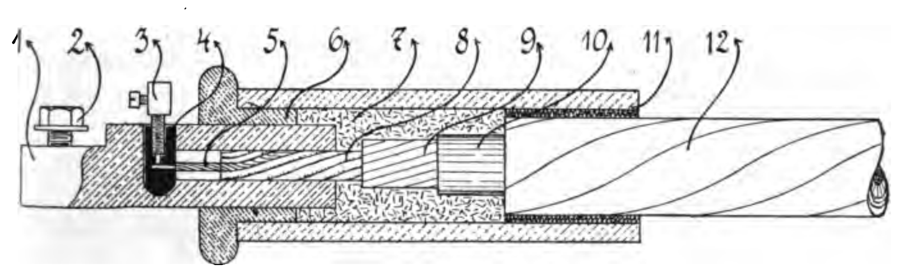


Fig. 175 *a*. Endverschluss.



Fig. 175 *b*. Endverschluss.

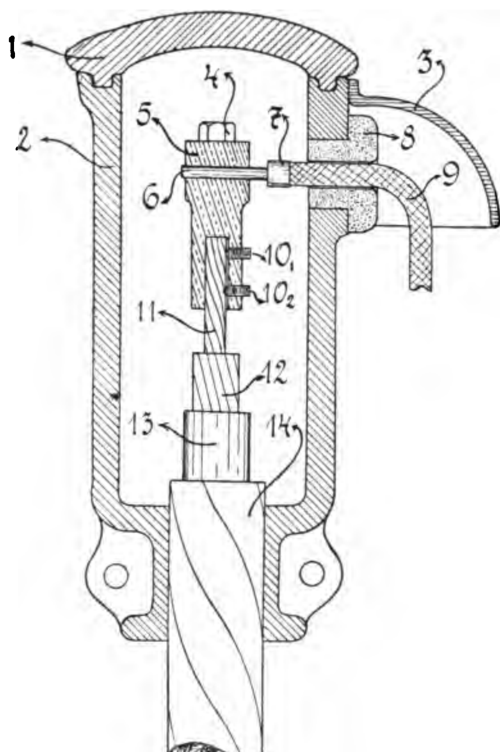
III. Endverschlüsse für Schaltbretter mit Prüfdraht für Einfachkabel, Fig. 175 a und Fig. 175 b.

Bezeichnungen für Fig. 175 a:

(1) Cylindrisches Metallstück.
(2) Schraube zum Anschluss an das Schaltbrett.
(3) Prüfdrahtschraube.
(4) Hartgummi.
(5) Prüfdraht.
(6) Glasstöpsel.
(7) Isoliermasse.
(8) Litze.
(9) Isolation.
(10) Bleimantel.
(11) Papierrohr.
(12) Isolation.

Das perspektivische Bild dieses Endverschlusses folgt in Fig. 175 b.

IV. Endverschlüsse für den Übergang vom Einfachkabel zur Freileitung, Fig. 176 a und Fig. 176 b.



Bezeichnungen für Fig. 176 a.

(1) Deckel.

(2) Gehäuse.

(3) Asbestonit oder Zinkmuschel.

(4) Schraube.

(5) Metallstück.

(6) Blanker Kupferleiter.

(7) Gummistufe gegen Feuchtigkeit.

(8) Porzellaneinführung mit Schwefel eingekittet.

(9) Mit Gummi isolierter und mit Baumwolle oder Leinenzwirn umklöppelter Leiter.

(10_1) und (10_2) Schrauben.

(11) Kupferlitze.

(12) Isolation.

(13) Bleimantel.

(14) Isolation (Armierung).

Fig. 176 a. Endverschluss.



Fig. 176 b. Endverschluss.

Für den Übergang von zwei und drei Einfachkabeln zur Freileitung werden dieselben Vorrichtungen mit verbreiterter Zinkmuschel (3) verwendet.

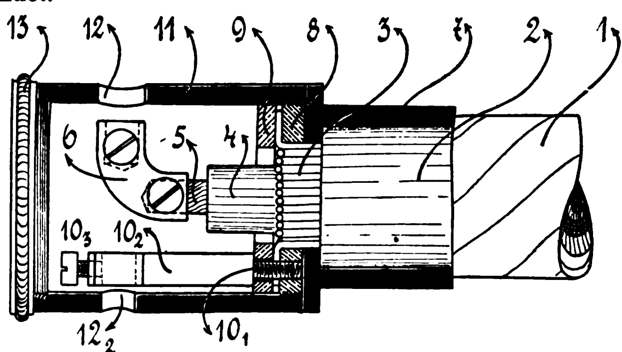


Fig. 177. Endverschluss.

Fig. 176 b stellt ein verkleinertes perspektivisches Bild desselben Endverschlusses dar.

V. Endverschlüsse für ein koncentrisches Doppel-Kabel, Fig. 177 und 178.

Bezeichnungen für Fig. 177:

(1) Isolation (Kabel).
(2) Bleimantel.
(3) Äußerer Leiter.
(4) Isolation.
(5) Innerer Leiter.
(6) Metallmuffe.
(7) Hartgummigehäuse.
(8) und (9) Messingscheiben.
(10_1) Schraube).
(10_2) Metallklemme.
(10_3) Schraube.
(11) Hartgummigehäuse.
(12) und (12_2) Öffnung.
(13) Hartgummideckel.

Von dem Kabel sind die Armierung (1), Fig. 177, der Bleimantel (2), der äußere Leiter (3), die Isolation (4) und der innere Leiter (5)



Fig. 178. Endverschluss.

ersichtlich. Mit dem inneren Leiter (5) ist die Muffe (6) verschraubt. Das Hartgummigehäuse (7) umgibt den Bleimantel (2). An dem Hartgummigehäuse (7) liegt die Messingscheibe (8). Die einzelnen Drähte des äußeren Leiters (3) sind an ihren Enden senkrecht umgebogen und werden durch die Messingscheibe (9) gegen die Messingscheibe (8) vermittelst dreier Schrauben (10) gedrückt. Im Bilde kann nur eine der letzteren Schrauben ersichtlich sein, weil sie 120° voneinander abstehen. Die Muffe (6) dient zum Anschlusse des einen Poles, die Metallklemme (10) zum Anschlusse des zweiten Poles des Leitungsnetzes. In der Metallklemme (10) befindet sich eine Öffnung zur Aufnahme einer Leitung. Die Schraube (10_1) dient zum Verschrauben der Leitung mit der Metallklemme (10_2). Das Hartgummigehäuse (11) besitzt zwei Öffnungen (12) und (12_2) zum Durchführen der Leitungen und wird durch den Deckel (13) geschlossen.

Fig. 178 veranschaulicht einen ähnlichen Endverschluss für ein konzentrisches Doppelkabel der Siemens & Halske A.-G.

Zur Verwendung der Patent-Bleikabel und Patent-Blei-Doppelkabel ist es weiter erforderlich, die einzelnen Kabellängen leicht und sicher unter einander verbinden zu können. Hierzu dienen die ihrer Form wegen gewöhnlich „gerade Muffen“ genannten Verbindungsmuffen, die bei der Legung der Patent-Bleikabel besprochen werden sollen.

Der mehrerwähnte Prüfdraht besteht aus einem Kupferdrahte von 1 bis 1·5 *mm*² Querschnitt, der mit Jute- oder Baumwoll-Garn besponnen und im ersteren Falle mit einer weitmaschigen Beklöppelung versehen ist. Die Stärke der Bespinnung hängt von der Drahtstärke des Leiters, zu welchem der Prüfdraht verwendet werden soll, ab, indem der äußere Durchmessser des letzteren ungefähr dem der nebenliegenden Drähte gleich sein muss. Die Bespinnung des Prüfdrahtes wird in gleicher Weise wie die der Kabelseele ausgeführt, und hat daher auch die gleichen Eigenschaften. Es muss deshalb, wenn das Patent-Bleikabel an einer Stelle eine Beschädigung erfährt und Feuchtigkeit in den Bleimantel einbringt, gleichzeitig mit der Isolation der Seele auch die Isolation des Prüfdrahtes heruntergehen oder gänzlich beseitigt erscheinen. Rückschließend ergibt sich, dass, wenn die Isolation des Prüfdrahtes einen entsprechend hohen Wert annimmt, auch die des Kabels eine gute sein muss, da, wenn ein Patentbleikabel als gut aus der Fabrik ausgieng, Veranlassung zum Niedergang der Isolation nur Feuchtigkeit geben kann, sei es, dass dieselbe an den Kabelenden oder an sonst einer Stelle eingedrungen ist.

In beiden Fällen wird aber die Isolation des Prüfdrahtes in Mitleidenschaft gezogen und eine Prüfung dieser Isolation auch Aufschluss über das Verhalten der Isolation des Kabels selbst geben. Behufs Prüfung einer Kabellinie braucht man daher die Kabel selbst nicht aus dem Stromkreise auszuschalten, wie es ohne Prüfdrähte nöthig sein würde, sondern es ist nur erforderlich, die Prüfdrähte bloßzulegen, wozu die freien Kabelenden mit ihren Endverschlüssen, sowie die Vertheilungskästen Gelegenheit bieten. Der Prüfdraht ermöglicht es daher, eine Kabellinie auf ihre Isolation zu prüfen, ohne den Zusammenhang derselben aufheben zu müssen, wodurch man wesentlich an Zeit spart, was in Bezug auf die mit einer solchen Prüfung verbundene Betriebsstörung (da diese Prüfung nur mit stromfreien Kabeln vorgenommen werden kann) von größter Wichtigkeit erscheint. Der Hauptzweck der Prüfdrähte ist es aber, mit ihrer Hilfe die Spannung an bestimmten Stellen der Kabellinie leicht prüfen zu können. Die Prüfdrahtleiter werden zu diesem Zwecke an der zu untersuchenden Stelle mit dem Leiter des Kabels in Kontakt gebracht. Bei den Hauptkabeln der Berliner Centralen z. B. geschieht dies dadurch, dass man

in den Vertheilungskästen die Klemme des Prüfdrahtes durch einen, auf der Kupferverbindung festgeschraubten Draht mit letzterer verbindet und so die Verbindung zwischen Prüfdraht und Hauptleiter im Kabel herstellt; das andere Ende des Prüfdrahtes wird zum Galvanometer geführt, an dessen Ausschlag man die, an der betreffenden Stelle der Leitung herrschende Spannung messen kann.

58. Eintheilung der Leitungen. Die Leitungen zerfallen in:

1. Leitungen im Freien.
2. Leitungen in geschlossenen Räumen.
3. Unterirdische Leitungen.
4. Unterseeische Leitungen.

I. Leitungen im Freien.

59. Die Leitungen im Freien (Oberirdische, offene oder Luftleitungen) bestehen in der Regel aus blanken Kupferdrähten. Für Ströme von geringen Stromstärken eignen sich auch Siliciumbroncedrähte, da dieselben eine größere Festigkeit als Kupferdrähte besitzen, und deshalb größere Spannweiten zulassen. Bei Bogenlichtleitungen sind oft Eisendrähte vortheilhaft verwendbar, da dieselben die Vorschaltwiderstände ersetzen. Das beste Isolationsmittel für die Leitungen bildet die Luft, da die Isolationsfähigkeit einer Leitung mit der Anzahl der Berührungspunkte derselben mit festen Körpern abnimmt.

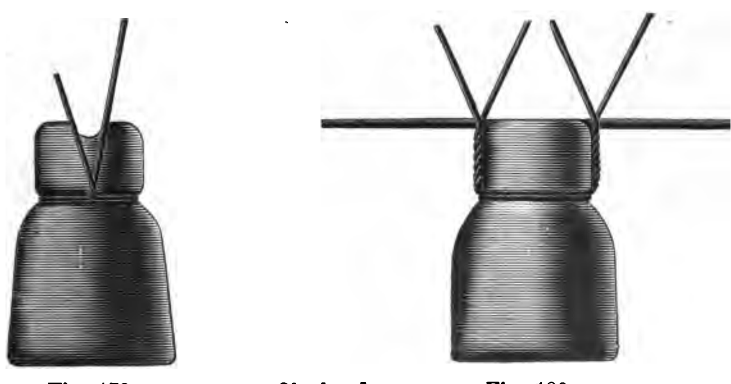


Fig. 179. Oberbund. Fig. 180

60. Befestigung der Leitungen im Freien auf Isolatoren. Die Befestigung der Leitungen im Freien erfolgt zumeist durch Bindedrähte an sogenannte Porzellanisolatoren (Porzellanglocken). Als Binde-

drähte werden verzinkte Eisendrähte von etwa 1·5 bis 2 *mm* Durchmesser verwendet. Die Befestigung der Leitungen besorgt:

1. Der Oberbund, Fig. 179 bis 182, wenn die Leitung einen geradlinigen Verlauf hat. Die beiden Bindedrähte sind etwa 70 *mm* lang, werden, Fig. 179, mit ungleichen Überständen um den Hals des Isolators geschlungen und, so wie es Fig. 180 veranschaulicht, zusammen-

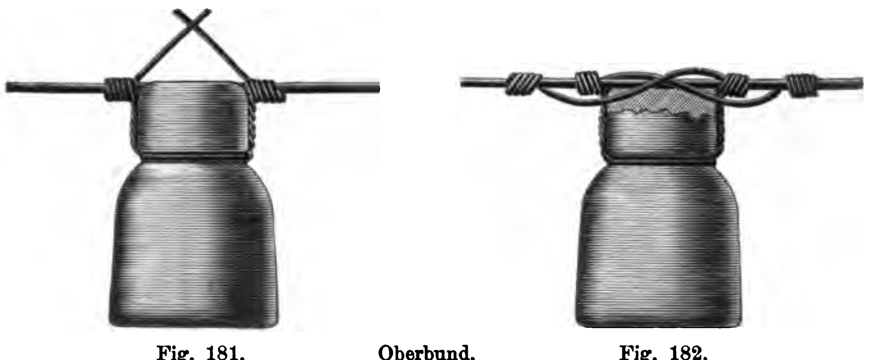


Fig. 181. Oberbund. Fig. 182.

gedreht. Die kurzen Drahtenden windet man, Fig. 181 um die Leitung, die längeren werden über dem Kopfe des Isolators gekreuzt und, so wie es Fig. 182 darstellt, um die Leitung gewunden.

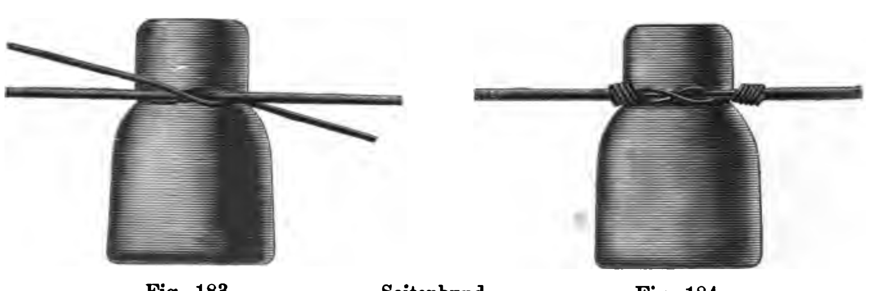


Fig. 183. Seitenbund. Fig. 184.

2. Der Seitenbund, Fig. 183 bis 185, wenn die Leitung in krummen Linien (Kurven) geführt wird; der seitliche Zug der Leitung darf jedoch nur auf dem Isolator und nicht auf den Bindedrähten lasten.

Man wählt den Bindedraht etwa 70 *mm* lang, legt denselben Fig. 183, um die Leitung, schlingt die Drahtenden beiderseits einmal um den Hals des Isolators und kreuzt dieselben über der Leitung; hierauf werden die Drahtenden nach Fig. 184 um die Leitung gewunden. Fig. 185 zeigt den fertigen Bund in der Seitenansicht.

Die Isolatorträger bestehen bei kleinen Isolatoren aus Rundeisen, bei größeren aus spießkantig gebogenem, an dem einen Ende cylindrisch ausgeschmiedetem Quadrateisen, Fig. 186. Soll der durch die Leitung ausgeübte Zug keine Drehung der Träger herbeiführen, so muss die Mittellinie der Holzschraube oder des Mauerbolzens durch die Mitte des Isolatorhalses gehen. Die Träger sind mit Holzschrauben versehen, wenn die Befestigung derselben an Holzstangen erfolgen soll; dann muss man die Träger senkrecht und so tief in das Holz einschrauben, dass noch ein Stück der nicht mit Gewinde versehenen Theile derselben in das Holz eindringt. In die Mauer werden die Träger durch Steinschrauben oder Mauerbolzen, Fig. 187, eingegipst.



Fig. 185.
Seitenbund.

Muss man die Träger mit Holzschrauben in die Mauer eingipsen, so ist das Gewinde derselben, um gehörigen Halt zu erlangen mit Bindedraht zu umwinden. Der Isolatorkopf wird entweder durch Gipseinguss oder besser mittelst Hanf an dem Träger befestigt. Der Hanf wird, entweder

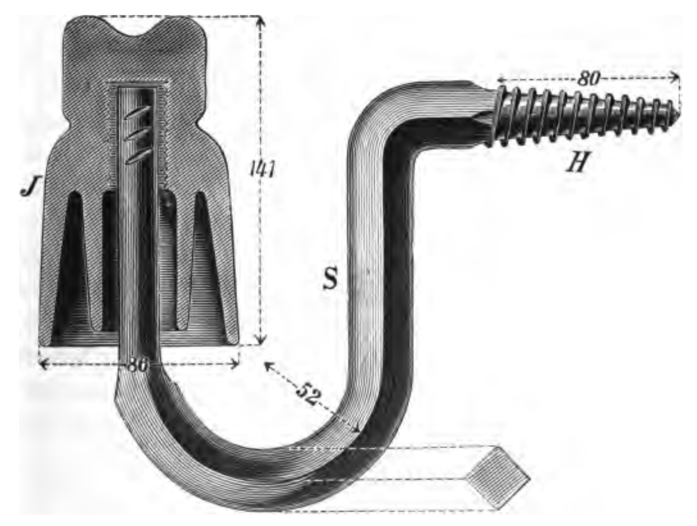


Fig. 186. Isolatorträger.

getheert oder mit Leinöl getränkt, in einer nicht zu dicken Schicht um das, durch Meißelhiebe eingekerbte, Ende der Stütze gewickelt, Fig. 186, und der innen mit Gewinde versehene Isolatorkopf kräftig aufgeschraubt. Die Porzellanisolatoren müssen an den Außen- und Innenwandungen emailliert sein, um das Anhaften (die Adhäsion) fremder Körper zu verringern, die Reinigung zu erleichtern und das Eindringen von Feuch-

tigkeit von der Außen- nach der Innenwandung zu dem Eisenträger zu verhindern. Falls sich die Isolatoren mit Schmutz, Kohlen und Metallstaub (insbesondere auf Eisenbahnen), Thau u. s. w. überzogen haben, müssen dieselben äußerlich mit Wasser und Bürste, zwischen den Glockenwandungen, woselbst sich Staub und Spinngewebe festsetzen, mittelst über einen Stab gewickelter Lappen, gereinigt werden. Gegen Thau schützt insbesondere die Tiefe der Glockenisolatoren.

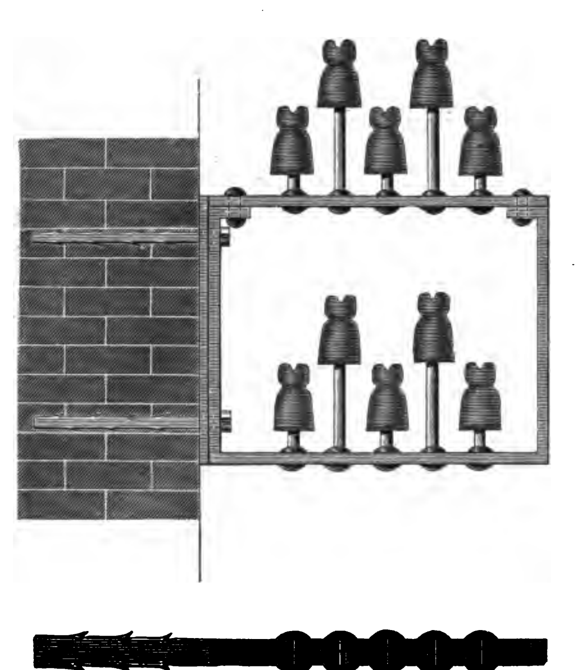


Fig. 187. Isolatorenträger.

In neuerer Zeit benützt man zur Befestigung der Leitungen sehr hoch gespannter Ströme sogenannte Ölisolatoren, Fig. 188 bis 189. Dieselben haben den Zweck, die zuletzt erwähnte Schlussbildung durch Feuchtigkeit, zwischen der Leitung und dem Träger zu vermeiden. In der Rinne befindet sich Öl. Dringt Feuchtigkeit von der Leitung nach der Oberfläche des Öles, so wird dieselbe, infolge ihres größeren specifischen Gewichtes, auf dem Boden der Rinne Platz finden und so den Träger nicht erreichen können. Aus dem „Berichte über die von der Maschinenfabrik Oerlikon vorgenommenen Versuche mit hochgespannten Strömen" sei hier Folgendes angeführt:

Die Versuchsleitung mit über 100 Isolatoren wurde Mitte November 1890 hergestellt und unter allen nur denkbaren Witterungsverhältnissen mit Spannungen bis zu 40.000 Volt belastet. Nie zeigten sich während dieser Versuchsdauer außergewöhnliche Erscheinungen, weder an dem Umsetzer, noch an der Leitung; auch ergab sich bei tagelanger Belastung der Letzteren mit etwa 30.000 Volt und gleichzeitiger Speisung von etwa 30 Glühlampen, dass die primäre Ampèrezahl am Anfang und Ende des Versuches bei Einhaltung konstanter Spannung genau die gleiche war. Wurde ferner der eine Pol an die Erde gelegt, so zeigten

sich auch hier bei Steigerung der Spannung bis auf 30.000 Volt kaum merkliche Verluste. Bei den Versuchen wurde das in Fig. 189 abgebildete Modell mit einer Ölkammer verwendet. Da es sich bei praktischen Ausführungen, insbesondere bei dem Versuch Lauffen-Frankfurt, um viel größere Entfernungen und deswegen um eine viel größere Menge von Isolatoren handelte, so wird es sich für die Praxis empfehlen, Isolatoren mit noch größerem Isolationsvermögen zu verwenden. Bei der Konstruktion dieser Isolatorentypen wurde besonders die Vermehrung der Isolationsfähigkeit bei feuchter Witterung durch Verwendung mehrfacher Ölkammern, die Ermöglichung leichter Einfüllung und die Entnahme des Öles, sowie der Schutz gegen muthwillige Beschädigung durch Steinwürfe ins Auge gefasst.

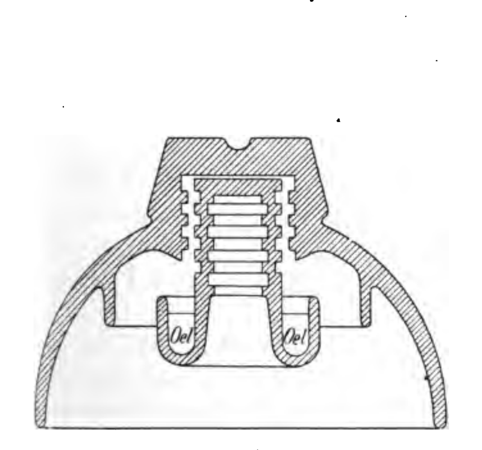



Fig. 188. Ölisolator.

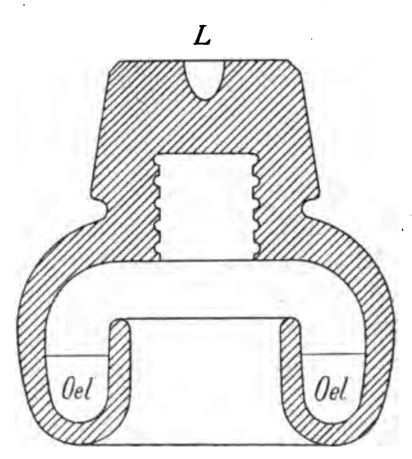


Fig. 189. Ölisolator.

In neuester Zeit benützt man mehrfache Isolatoren, welche zwei oder drei neben- oder ineinander angeordnete Mäntel besitzen.

Special-Isolatoren und Rollen für hohe Spannungen, feuchte Räume, Bergwerke und Akkumulatorenräume der Firma Hartmann & Braun in Frankfurt a. M.-Bockenheim, Fig. 190 bis 193.

Für hohe Spannungen und zur Verlegung von Leitungen in feuchten Räumen werden zur Zeit nur Doppel- oder Dreifach-Glockenisolatoren verwendet.

Die Vorzüge der Glockenisolatoren bestehen in einem mehr oder weniger großen Weg, den der Strom über die Glocke nach der Stütze, also Erde, machen muss. Je größer dieser Weg ist, desto größer ist der Isolationswiderstand.

Häufig ist es aber aus räumlichen Gründen nicht möglich, Glockenisolatoren anzuwenden, z. B. in den Kühlkellern großer Brauereien, wegen den an den Decken angebrachten Kühlrohren, in Bergwerken etc. Für diese Zwecke empfeblen Hartmann & Braun Keller-Isolatoren, welche sich auch vorzüglich zur Verlegung von Leitungen in Akkumulatorenräumen eignen.

Diese Isolatoren, Fig. 190 bis 193, nehmen wenig Platz weg, da sie direkt unter der Decke montiert und leicht gereinigt werden können, was bei den Glockenisolatoren nur schwierig auszuführen ist.



Fig. 190. Keller-Isolator.



Fig. 191. Keller-Isolator.

Für gewöhnliche Leitungsverlegungen an Wänden empfiehlt die obige Firma statt der Isolierrollen neue Hochspannungsrollen, Fig. 192 und 193, deren Konstruktion aus den Abbildungen ohne Weiteres verständlich ist, und welche die Vorzüge eines langen Porzellanweges mit einer Form verbinden, die verhindert, dass das an der Wand ablaufende Schwitzwasser über den Leitungsdraht fließt, wie bei gewöhnlichen Rollen. Das Tropfwasser läuft frei ab, ohne zwischen dem Leitungsdraht und der Wand oder Schraube eine Verbindung herzustellen.



Fig. 192. Hochspannungs-Rolle.

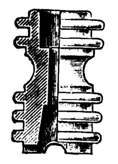


Fig. 193. Hochspannungs-Rolle.

Die Hochspannungsrollen, sowie die Keller- und Bergwerks Isolatoren werden sowohl für durchgehende Schrauben wie eingekittete Bolzen in drei Größen hergestellt. Ein großer Vorzug beider Formen ist, wie bereits erwähnt, die Möglichkeit, dieselben leicht zu reinigen, was z. B. in Bergwerken von der größten Wichtigkeit ist.

61. Leitungseinführung in Gebäude. An der Einführungsstelle in Gebäude müssen die Leitungen durch Hartgummi- oder Porzellan-

rohre oder Hartgummi- und Porzellanrohre, Fig. 194, gegen das Mauerwerk geschützt werden. Über das Hartgummirohr wird im letzteren Falle von außen eine Porzellanpfeife, Fig. 195, oder eine Porzellanmuschel, Fig. 196 (Schnitt) und Fig. 197 (Schnitt), von innen eine Porzellanröhre, Fig. 198, geschoben. Die Leitung muss von unten, ohne Spannung in die Durchführung eintreten, so dass an der Leitung herabfließendes Wasser nicht in die Einführung dringen kann. Zur Herstellung der, bei Mauereinführungen erforderlichen, Bohrlöcher benützt man Hohlmeißel (Mauerbohrer), Fig. 199, und zwar entweder

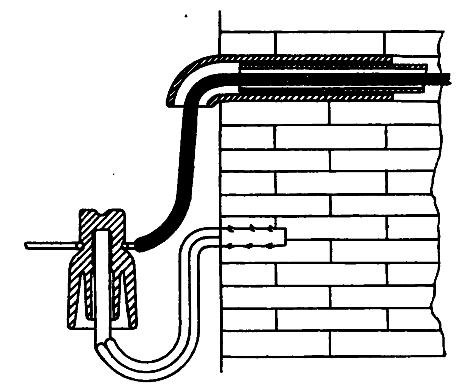


Fig. 194. Leitungseinführung.

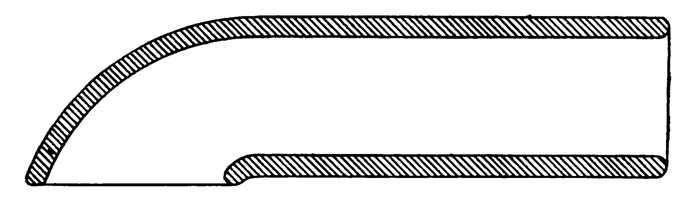


Fig. 195. Porzellanpfeife.

Röhren aus Stahlblech, die am Ende gezahnt sind oder Gasrohre. Die Zähne werden unter demselben Winkel geschärft, wie beim Kreuzmeißel und etwas nach außen gebogen, damit der Bohrer beim Tieferwerden des Loches genügenden Spielraum behält. Der massive Ansatz soll das Spalten des Bohrers durch das Aufschlagen verhindern. Häufig verwendet man an einer Seite gehärtetes Gasrohr (Gasrohrbohrer) oder gebohrtes Rundeisen zur Herstellung dieser Bohrer und gibt denselben grobe Zähne. Beim Bohren des Loches muss mit den Hammerschlägen zugleich das Drehen des Bohrers erfolgen. Um das Bohrmehl zu entfernen, wird der Bohrer von Zeit zu Zeit, im Augenblicke des Schlagens,

derart gegen den Hammer gedrückt, dass keine Vertiefung des Loches, sondern ein Prellen des Bohrers erfolgt. Sind dicke Mauern zu durchbohren, so wendet man nach einander Bohrer von verschiedener Länge an.

62. Andere Luftleitungen. Flad befestigt die Leitungen zwischen haushohen Thürmen an Tragseilen. Die Thürme stehen an Straßenkreuzungen, zwischen denselben werden Tragseile zum Aufhängen der Leitungen gespannt.

In großen Städten finden zumeist unterirdische Leitungen zu Licht- und Kraftzwecken Verwendung.

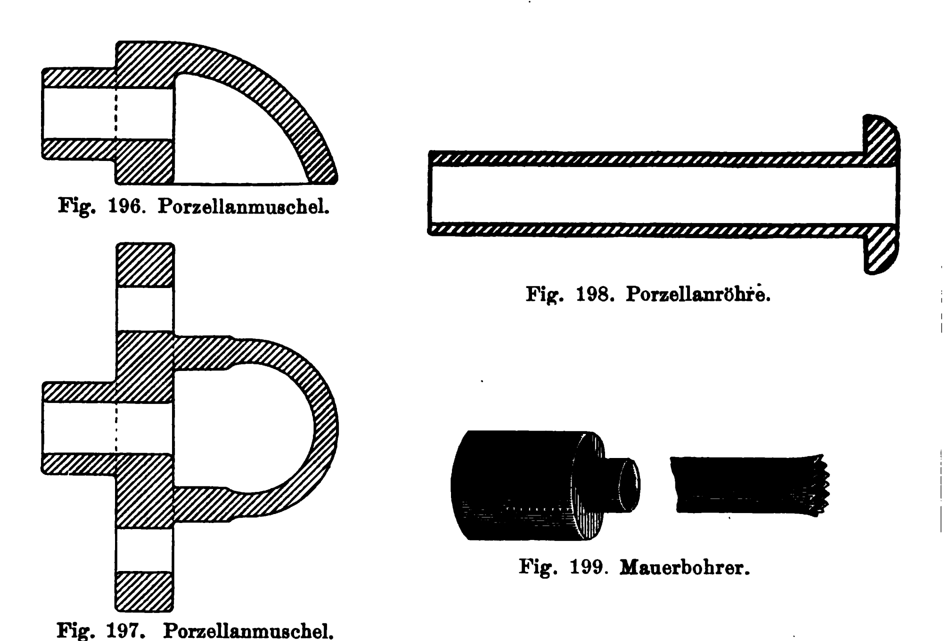


Fig. 196. Porzellanmuschel.

Fig. 197. Porzellanmuschel.

Fig. 198. Porzellanröhre.

Fig. 199. Mauerbohrer.

63. Anschluss isolierter Leitungen an blanke bei Leitungseinführungen in Gebäude und zur Aufhängung von Bogenlampen. Das Ende der blanken Leitung wird zweimal um den Isolatorhals geschlungen, hierauf mit dem gespannten Leitungstheil verlöthet, indem man bei schwächeren Leitungen, so wie es Fig. 200 zeigt, das Drahtende um die Leitung windet, und bei stärkeren Leitungen, die über 4 *mm* dick sind, die Überbindung durch Umwinden mit dünnem Kupferdrahte herstellt. Das Ende der isolierten Leitung wird, vor der Verbindungsstelle der blanken Leitung mit derselben, verlöthet und derart um den blanken Draht geschlungen oder mit Bindedraht an dem Isolatorhals befestigt,

dass man die Löthstelle bei Bewegung des, in der Regel lose herabhängenden, Drahtes nicht verletzt.

64. Leitungsträger. Als Träger der Luftleitungen finden Telegraphenstangen Verwendung; dieselben haben eine Länge von 7 bis 10 *m* und sind bis auf $^1/_5$ ihrer Länge in die Erde eingesetzt. In ebenen



Fig. 200. Leitungsanschluss.

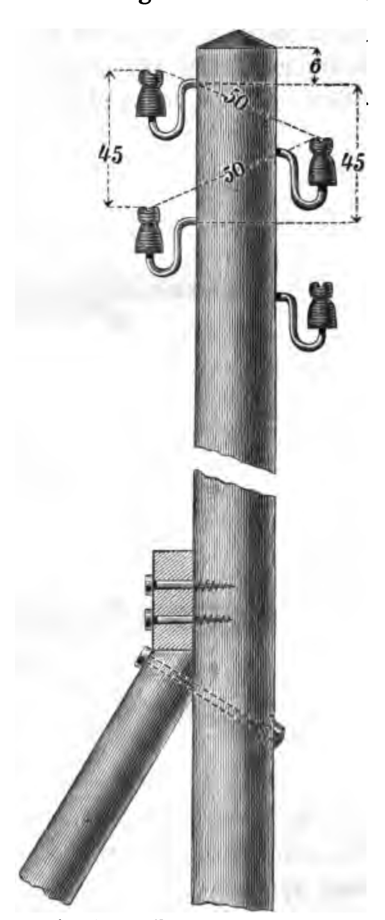


Fig. 201. Leitungsträger.

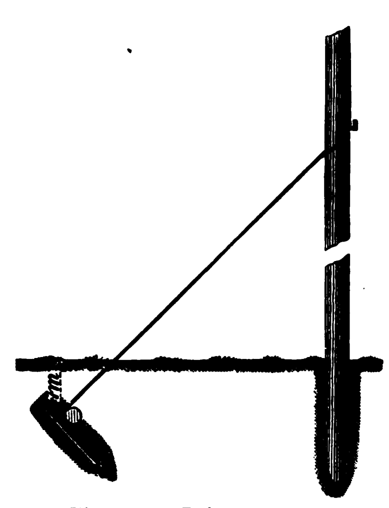


Fig. 202. Leitungsträger.

Gegenden neigt man die Stangen etwas gegen die Windrichtung. Dort, wo die Leitungen Krümmungen machen, bringt man in der Richtung des Zuges Streben, Fig. 201, oder Verankerungen, Fig. 202 an. Die Zugrichtung halbiert den durch die Leitung gebildeten Winkel. Die Streben stützen sich einerseits in $^1/_3$ der Stangenhöhe unter einem Winkel von 45^0 gegen ein, mit Holzschrauben befestigtes Stück harten Holzes

werden außerdem durch einen Schraubenbolzen mit der Leitungstragstange verschraubt, ragen 1 *m* in die Erde und stützen sich andererseits gegen einen flachen Holzpfosten oder Stein. Die Verankerung besteht aus einem Drahtseile oder aus zusammengewundenem, 3 *mm* starkem, verzinktem Eisendraht, welcher, sowie es die Fig. 202 zeigt, die Tragstange gegen eine, etwa 1 *m* in die Erde gegrabene Stange, in der entgegengesetzten Richtung des Zuges, spannt. Die Entfernung je zweier Leitungsstangen (die Spannweite) hängt von dem Materiale und der Stärke des zu verwendenden Drahtes sowie davon ab, ob die Leitung

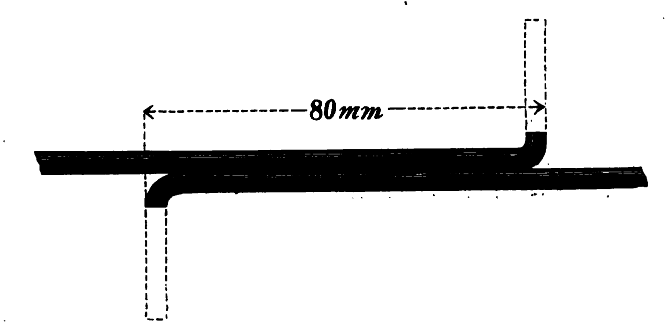


Fig. 203. Leitungskuppelung.

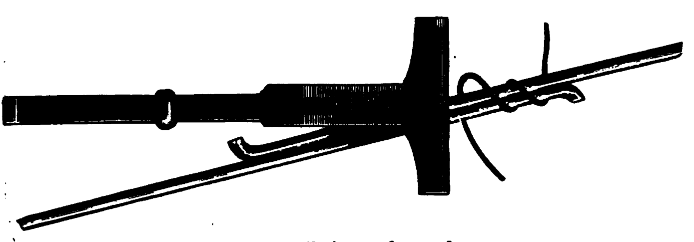


Fig. 204. Leitungskuppeluug.

gerade oder in Krümmungen verlauft. Zwei nebeneinander führende Kupferdrähte von etwa 4 *mm* Durchmesser kann man beiläufig 40 *m* weit spannen.

65. Die Leitungskuppelungen. Die Verbindung blanker Leitungen erfolgt in derselben Weise, wie es die Fig. 203 bis 205 darstellen. Die zu verbindenden Drähte werden mittelst Glaspapier abgerieben, an den Enden etwas umgebogen, der Fig. 203 entsprechend aneinandergelegt, und durch einen Feilkloben gefasst, Fig. 204. Um die so vereinigten Drähte wird ein ebenfalls vollkommen blanker Bindedraht aus Kupfer von 1 *mm* Durchmesser herumgewunden. Der letztere Vorgang ist aus den Fig. 204 und 205 ersichtlich. Zum Löthen

benützt man Kolophonium, oder eine wässerige Lösung aus Chlorzink oder das säurefreie Löthwasser von Langbein in Leipzig und sorgt dafür, dass das Löthzinn überall und möglichst gleichförmig in die Verbindungsstelle eindringt. Salzsäure darf beim Löthen von Leitungen keine Verwendung finden, da, selbst beim sorgfältigsten Abwaschen der Löthstelle und dem Trocknen derselben mit einem Lappen, Spuren von Säure zurückbleiben, welche das Kupfer oxydieren und so schlechte Berührungsstellen herbeiführen. Das Löthzinn besteht aus gleichen Theilen Blei und Zinn.



Fig. 205. Leitungskuppelung.

66. Das Spannen der Leitungen, Fig. 206. Die Leitungen werden auf die Biegungen mehrerer Isolatorenstützen gelegt, mit Hilfe eines Flaschenzuges und einer Froschklemme, Fig. 207, gespannt, auf den Isolator gelegt und an demselben fest gebunden. Dabei ist der in Drahtringen (Bünden) zur Verwendung kommende Draht, um Querschnittsänderungen und Verdrehungen desselben zu vermeiden, beim Abrollen senkrecht zu halten; lässt man dagegen den Drahtring am Boden liegen, so wird derselbe verdreht und spannt sich nur

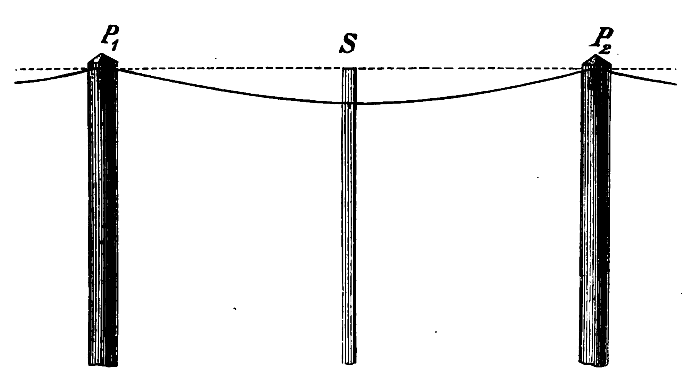


Fig. 206. Spannen der Leitungen.

mühsam. Die Backen der Froschklemmen dürfen nicht rauh sein, weil sonst leicht eine Beschädigung des Drahtes stattfinden kann. Die Stelle der Froschklemme kann im Nothfalle auch ein Feilkloben versehen. Die Krümmungen starker Drähte lassen sich durch das Spannen allein nicht beseitigen; in diesem Falle empfiehlt es sich, die Leitung zwischen zwei Hölzern, die man in der Hand hält, so lange und so

stark zu streichen bis dieselben beseitigt sind. Das Spannen der Leitungen von 5 *mm* Durchmesser aufwärts ist sehr schwer ausführbar. Man ersetzt deshalb starke Leitungen durch mehrere zusammengewundene Drähte (Litzen) oder durch mehrfache schwächere Drähte, welche man mittelst eines runden Eisenstabes zusammendreht. Den Eisenstab schiebt man in der Mitte zweier Stützpunkte zwischen die Drähte; die Drähte vertheilen sich nur dann gleichmäßig, wenn dieselben während des Zusammenwindens schwingen. Die Öffnung, welche der Eisenstab hinterlässt, drückt man zusammen. In der Fig. 206 deutet die punktierte Linie die gerade Verbindung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Stützpunkten der Leitungen an. Die bestgespannte Leitung weicht jedoch infolge ihres Gewichtes, von dieser geraden Linie ab, man sagt: „Sie hängt durch“. Der Durchhang (die Pfeilhöhe) soll etwa 50 bis 100 *cm* betragen. Diesen gleichmäßigen Durchhang auf der ganzen Strecke stellt man durch den, in der Fig. 206 versinnlichten Vorgang her. An einer Stange befindet sich, in der Pfeilhöhe von ihrem oberen Ende *S*, ein Stift. Derselbe berührt in der Mitte des Durchhanges die Leitung. Die Spitze *S* der Stange und die Befestigungspunkte der Leitung P_1 und P_2 müssen in einer Geraden liegen; diese Lage kann man von P_1 oder P_2 aus durch Visieren beobachten.



Fig. 207. Froschklemme.

II. Leitungen in geschlossenen Räumen.

67. Kuppelung isolierter Leitungen. Mit einander zu verbindende Drähte oder Litzen sind an den Enden, etwa auf einer Strecke von 5 bis 10 *cm*, mit einem Messer abzuschaben. Insbesondere bei schwachen Drähten soll die Isolation nicht durch einen, um den Draht geführten Schnitt entfernt werden, weil das Anschneiden des Drahtes hierbei fast unvermeidlich ist. Durch den letzteren Vorgang wird somit der Drahtquerschnitt geschädigt und der Widerstand der Leitung erhöht; häufig bricht der Draht, früher oder später, an der Schnittstelle. Die zu verbindenden Leitungsenden schabt man weiters vermittelst Glaspapier sorgfältigst ab. Beim Verlöthen der Kuppelung ist

insbesondere darauf Rücksicht zu nehmen, dass die Isolation nicht anbrennt. Die am häufigsten angewendeten Verbindungen von Drähten sind der Würgebund, Fig. 208, und der Wickelbund, Fig. 209. Der erste Bund dient insbesondere zur Kuppelung schwacher Drähte. Aus der Fig. 208 ersieht man, wie solche Drähte zusammengewürgt werden. Der Wickelbund findet bei stärkeren Drähten Anwendung; seine Herstellung erfolgt wie die des in den Fig. 203 bis 205 ersichtlichen Bundes. Ebenso stellt man die Verbindung zwischen litzenförmigen Leitungen her; bei den letzteren werden auch häufig die Litzenenden, sowie es

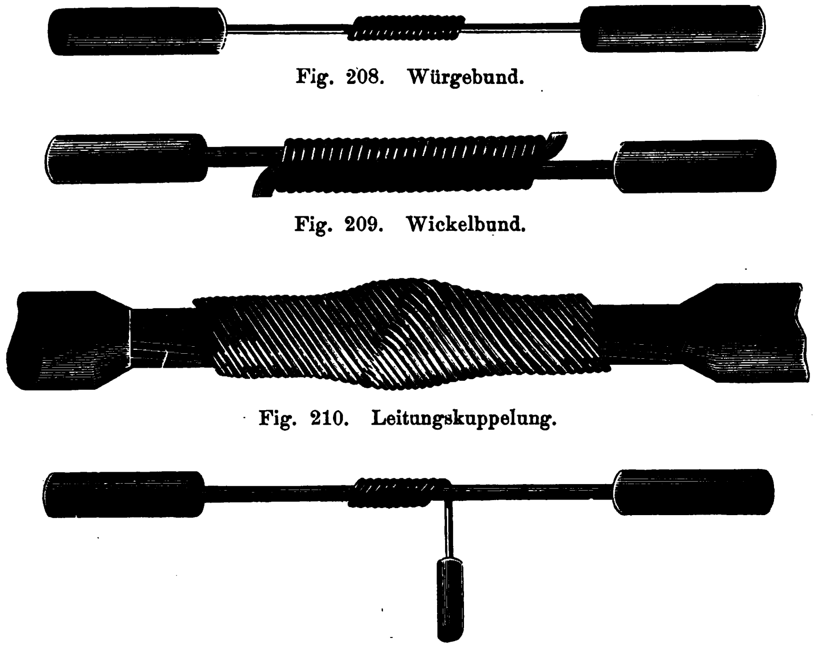


Fig. 208. Würgebund.

Fig. 209. Wickelbund.

Fig. 210. Leitungskuppelung.

Fig. 211. Leitungsabzweigung.

Fig. 210 an einer sehr starken Litze wiedergibt, miteinander verflochten. Starke Litzen sind aus einer Litze von starken Kerndrähten und einer Litze darüber befindlicher Deckdrähte aufgebaut. Der Vorgang bei der Herstellung der Kuppelung ist der folgende: Nachdem man die Kernlitzen auf einer Strecke von etwa 8 *cm* freigelegt hat, schneidet man dieselben ab, schiebt sie mit ihren Schnittflächen aneinander, steckt die Deckdrähte der beiden Litzen in regelmäßiger Vertheilung ineinander und windet ihre Enden um die Verbindungsstelle. Es ist insbesondere dafür Sorge zu tragen, dass das Löthzinn in sämmtliche Zwischenräume der Kuppelung eindringt.

Fig. 211 zeigt die Verbindung einer schwachen Hauptleilung mit einer Zweigleitung; letztere erscheint um die erstere herumgewunden. Ebenso werden Abzweigungen von litzenförmigen Leitungen, Fig. 212, hergestellt.

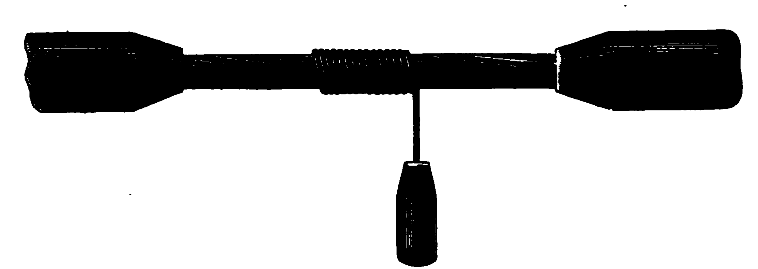


Fig. 212. Leitungsabzweigung.

Fig. 213 gibt ein Bild der Kuppelung einer Litzenhauptleitung mit einer Litzenabzweigung. Die Drähte der Zweiglitze erscheinen in zwei gleichen Theilen um die Hauptlitze gewunden.

Die Kuppelung einer starken Litze mit einer schwachen stellt Fig. 214 dar. Die Drähte der Abzweiglitze werden in zwei Theile getheilt und um einige Drähte der Hauptlitze herumgewunden. Der Querschnitt, der zur Kuppelung benützten Hauptdrähte, muss dem Querschnitte der Abzweiglitze mindestens gleich sein.

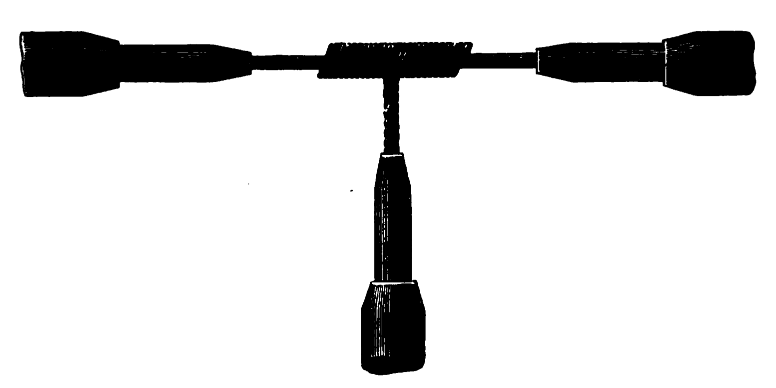


Fig. 213. Leitungsabzweigung.

Eine Kuppelung erweist sich nur dann als verlässlich, wenn die Löthstellen äußerst solid hergestellt sind.

Fig. 215 veranschaulicht ein perspektivisches Bild einer Muffenabzweigung. Diese Kuppelung findet insbesondere bei sehr starken

Drähten und Litzen Verwendung. Es erweist sich als zweckmäßig, die Muffen mit einer Reihe von Öffnungen zu versehen, weil das Löthzinn nur dann alle Zwischenräume, zwischen Leiter und Muffe, auszufüllen vermag. Die Verbindung der Muffe mit der Hauptleitung kann auch durch das Zusammenschrauben derselben erfolgen. Muffverbindungen sind auch für mehrere Abzweigungen herstellbar.



Fig. 214. Leitungsabzweigung.



Fig. 215. Leitungsabzweigung.

Die Verbindungen und Abzweigungen der Eisenpanzerkabel folgen an weiterer Stelle.

68. Metallklemmen. Fig. 216 veranschaulicht die Metallklemmen der Siemens & Halske A.-G. Die erste und dritte Klemme dieser

Figur stellen Kabelklemmen vor. Sie dienen zum Anschluss von Kabeln auf Schaltbrettern, Einschalten von Sicherungen u. s. w. Vermittelst dieser Klemmen kann man auch Leitungen parallel schalten, weil sich je zwei Klemmen leicht mit einander verschrauben lassen. Die zweite und vierte Klemme der oberen Reihe der Figur dienen ebenfalls zum Verklemmen von Leitungen; die zweite Klemme ist kleiner und besteht in der Figur nur aus einem Obertheil, die vierte Klemme ist größer und besteht aus einem Ober- und aus einem Untertheil.

Die erste Klemme der unteren Reihe der Fig. 216 gibt eine Messingklemme, die zweite eine Universalklemme, die dritte eine Tischklemme, die vierte bis sechste geben Abzweigklemmen für dünne Lichtleitungen, beziehungsweise Lusterklemmen wieder. Die Universalklemmen (zweite Klemme der unteren Reihe der Fig. 216) gestatten die Kuppelung von

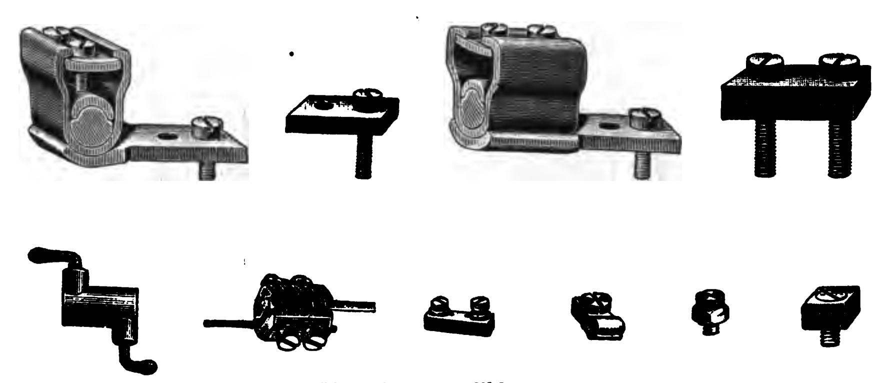


Fig. 216. Metallklemmen.

Drähten verschiedener Durchmesser. Bei dünneren Drähten gehen die Theile der Klemme weiter in einander, bei dickeren Drähten dagegen weiter auseinander. Man kann, so wie es die Figur zeigt, auf der einen Seite einen stärkeren, auf der anderen einen schwächeren Draht einklemmen.

69. Verlegung durch Anstiften der Leitung. Diese Verlegungsart ist aus der Schwachstromtechnik, und zwar insbesondere aus der Telegraphie, Telephonie und dem Signalwesen in die Starkstromtechnik eingeführt worden; sie stellt die älteste Verlegungsart elektrischer Leitungen dar. In der elektrischen Beleuchtung und Kraftübertragung ist dieses System jedoch, als gänzlich mangelhaft, durch eine Reihe anderer Systeme verdrängt worden. Die Verlegung durch Anstiften der Leitungen besteht darin, dass man baumwollumsponnene

Drähte vermittelst Drahtkrampen an der Wand oder Decke befestigt. Anwendbar erscheint diese Verlegung nur dann, wenn die Mauern vollkommen trocken sind, weil sonst der Kalk die Isolation des Drahtes zerstört. Selbst bei trockener Unterlage sollen die Leitungen auf Holzleisten verlegt werden. Auf je 1 *m* Länge des Drahtes rechnet man mindestens eine Drahtkrampe. Dort wo die Krampe den Draht fasst,

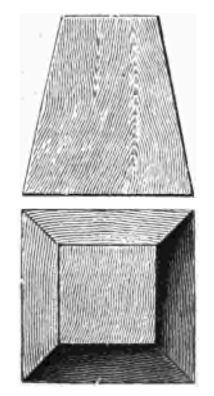


Fig. 217. Holzdübel.

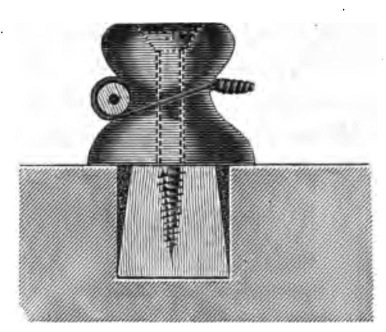


Fig. 218. Porzellanrolle.

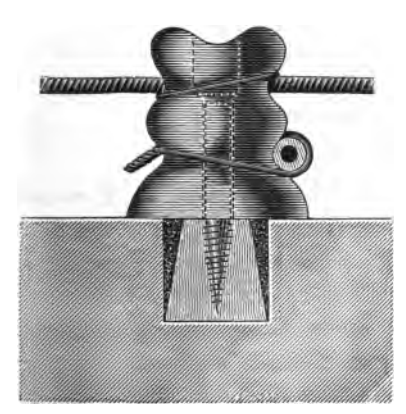


Fig. 219. Kreuzungsknopf.

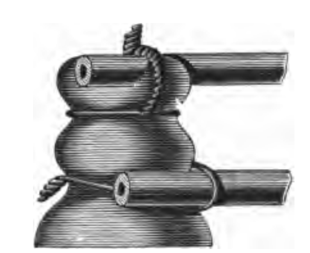


Fig. 220. Kreuzungsknopf.

ist die Isolation desselben durch Isolierband oder Gummizwischenlagen besonders vor Beschädigung zu schützen. Liegen die Drähte sehr nahe nebeneinander, so sind die Krampen öfters zu befestigen und gegeneinander zu versetzen, weil sonst leicht zwischen denselben Schlüsse eintreten können.

70. Verlegung mittelst Porzellanrollen. Die Rollen werden entweder auf Holzdübel oder Holzleisten aufgeschraubt.

a) Das Aufschrauben der Porzellanrollen auf Holzdübel, Fig. 217. Sämmtliche Isolationsvorrichtungen an Wänden und Decken werden in der Regel auf Holzdübel aufgeschraubt. Die Holzdübel sind aus hartem Holze hergestellt und haben die Form einer abgestutzten Pyramide, Fig. 217. Die Grundfläche der Pyramide kann entweder quadratisch (zur Aufnahme nur einer Rolle) oder rechteckig, (zur Aufnahme mehrerer Rollen) sein. Zur Befestigung mehrerer Rollen nebeneinander können weiters auch zwei Dübel, mit quadratischer Grundfläche, Verwendung finden, auf welche ein Holzbrettchen und erst auf dieses die Isolationsvorrichtungen aufgeschraubt werden. Das Holzdübel gipst man, sowie es Fig. 218 zeigt, mit der Grundfläche nach innen, in eine, mittelst Gasrohrbohrer ausgestemmte, Öffnung ein. Die Fläche der Maueröffnung soll nur unbedeutend größer sein als die größere, in der Mauer befindliche, quadratische Fläche der Pyramide. Die Porzellan-

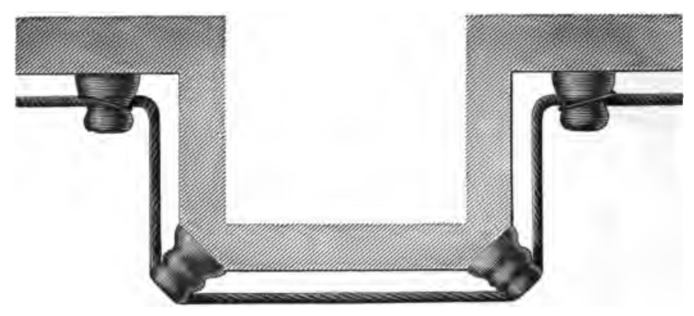


Fig. 221. Mauerecke.

rolle wird auf das Dübel mittelst einer Holzschraube, Fig. 218, aufgeschraubt. Die Befestigung des Leitungsdrahtes an der Rolle besorgt ein verzinkter Eisendraht von 1·5 bis 2 *mm* Durchmesser; derselbe wird, in der aus der Fig. 218 ersichtlichen Weise, um den Draht und um die Rolle geschlungen und vermittelst einer Zange zusammengewürgt. Allenfalls überstehende Drahtwindungen zwickt man ab. Nur ganz schwache Drähte dürfen um die Rolle geschlungen und mit einem Bindedraht befestigt werden.

Sich kreuzende Leitungen verlegt man auf sogenannte Kreuzungsknöpfe, Fig. 219 und Fig. 220. Die eine Leitung wird in der unteren Rille, die andere in dem Einschnitte des Knopfes angebunden. Das Befestigen des Drahtes in der Rille erfolgt wie in Fig. 218. Behufs Anbinden des Drahtes in dem Einschnitte des Knopfes legt man, von den zwei vollen Seiten des Knopfes aus, je einen Draht um den halben Umfang der oberen Rille, Fig. 219, und würgt die zusammengewürgten Enden über dem Knopfe, Fig. 220 nochmals zusammen.

Eine vortheilhafte Anwendung der Kreuzungsknöpfe zeigt Fig. 221. In dieser Figur führt eine Leitung um eine scharfe Ecke (Mauerecke, Pfeiler, Balken u. s. w.)

b) Eisendübel und Schellen von H. Köttgen & Co. in Berg. Gladbach und Köln, Fig. 222 bis 226. Fig. 222 veranschaulicht ein Eisendübel sammt eingeschraubter Schraube, Fig. 223 Dübel, Schraube und Porzellanrolle. Mehrfache Eisendübel sammt Porzellanrollen und Schrauben zeigen die Figuren 224 und 225. Fig. 226 stellt eine Schelle zur Befestigung an T-Träger dar.

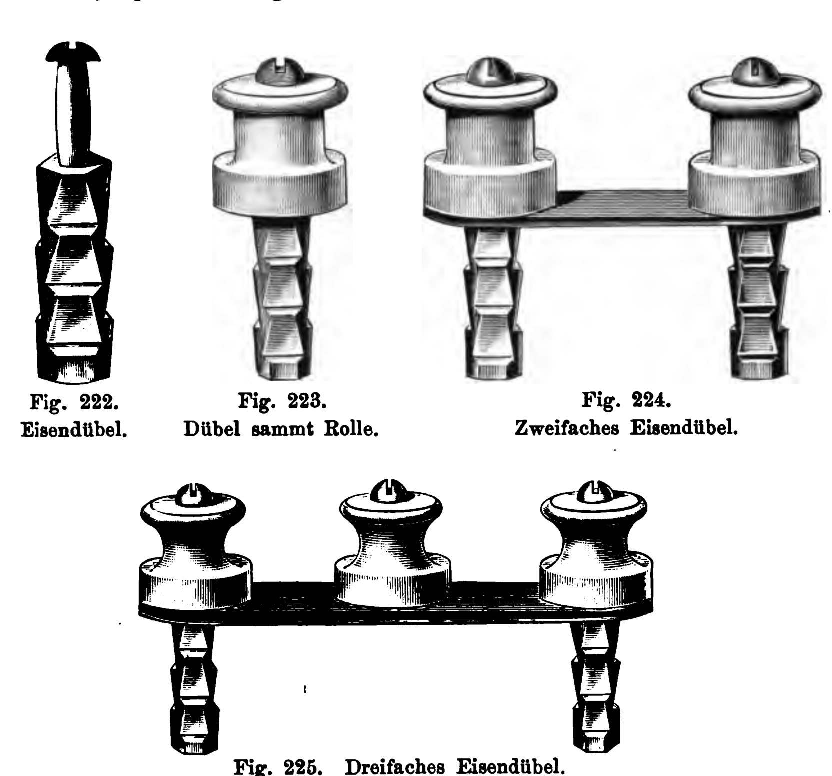


Fig. 222. Eisendübel. Fig. 223. Dübel sammt Rolle. Fig. 224. Zweifaches Eisendübel.

Fig. 225. Dreifaches Eisendübel.

c) Das Aufschrauben der Porzellanrollen auf Holzleisten. Fig. 227 gibt diese Verlegungsart in der von der Firma Ganz & Co. in Budapest ausgeführten Weise wieder. Beide Pole sind durch die, in der Figur ersichtliche, Porzellanbleisicherung geschützt.

Führen die Leitungen durch eine Mauer, Fig. 228, so werden dieselben in der Regel an der Durchführungsstelle durch eine Glas-, Porzellan- oder Hartgummiröhre isoliert. Häufig verwendet man eine Porzellanmauerdurchführung sammt einer, in derselben befindlichen,

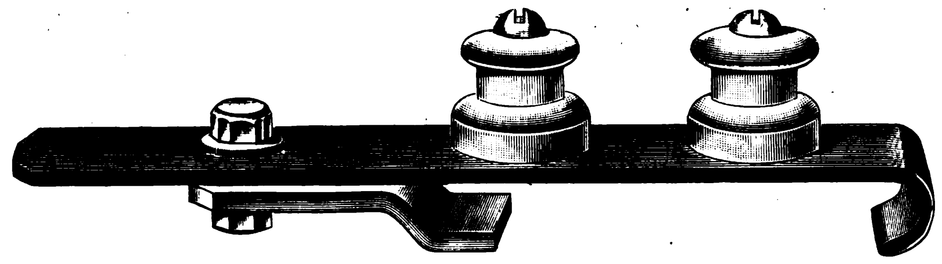


Fig. 226. Schelle.



Fig. 227. Porzellanrollen auf Holzleisten.

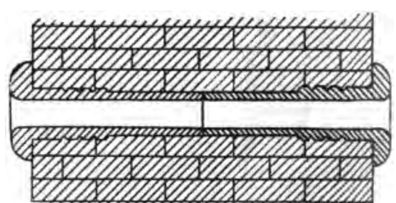


Fig. 228. Leitung durch eine Mauer.

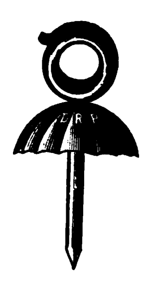


Fig. 229. Haken.

Hartgummiröhre; durch die letztere führt der Leitungsdraht. Bei starken Mauern werden zwei Porzellandurchführungen, von den beiden Seiten der Öffnung aus, sowie es die Fig. 228 veranschaulicht, gegeneinander geschoben. Durch beide Röhren führt ein Hartgummirohr.

Dieselben Mauerdurchführungen finden bei sämmtlichen Verlegungsarten der elektrischen Starkstromleitungen Verwendung.

71. Verlegung auf Ringisolatoren System Peschel der Firma Hartmann & Braun in Frankfurt a. M. — Bockenheim. [1])

Das Leitungsmaterial bilden verseilte Drähte an Stelle von zwei einzeln liegenden, von einander getrennt geführten Einzelleitungen.

Diese Doppelleitungen dürfen nicht direkt auf die Wände befestigt werden, ebensowenig wie Einzeldrähte, denn alle Wände und Tapeten sind mehr oder minder feucht und können auch durch in den höheren Stockwerken ausgegossenes Wasser direkt nass werden. Feuchte und nasse Drähte entzünden sich aber unbedingt und verursachen dadurch Feuersgefahr. Dass Doppelleitungen an sich nicht feuergefährlich sind, geht zur Genüge aus ihrer häufigen Anwendung bei Ausstattungsstücken hervor.

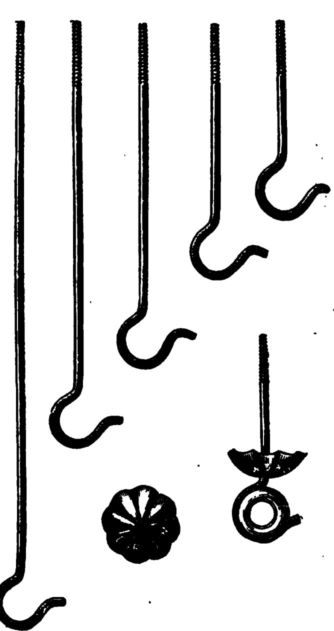


Fig. 230. Schraubhaken.

Wenn richtig montierte Doppelleitungen an Lustern etc. ungefährlich verwendet werden können, so müssen sie auch bei richtiger Montage für die eigentlichen Leitungen verwendbar sein.

Die richtigen Bedingungen von Doppelleitungen sind gegeben, sobald die Leitungen von der Wand in solchen Abstand verlegt werden, dass etwa ablaufendes Tropf- oder Schwitzwasser die Leitungen nicht mehr berührt. Da die beiden eventuell auch drei und mehr Leitungen bei Gruppenschaltung, unter sich verseilt sind, so ist für die ganze Anzahl von Leitungsdrähten nur ein Isolator nöthig, während früher für jeden Draht ein Isolator nöthig war.

Abweichend von der bisherigen Form werden an Stelle der Isolierknöpfe Ringe aus Porzellan, farbigem Glas etc. verwendet.

Die Leitungen werden durch die Ringe gezogen, die Ringe selbst aber durch einen federnden Haken an der Wand befestigt, indem der Haken in eine umlaufende Nut am Ring eingreift und den Ring federnd umspannt und festhält.

Die Haken sind auf kleine, als Nägel ausgebildete Metallrosetten befestigt, Fig. 229, oder sie sind als Schraubhaken Fig. 230, ausgeführt.

[1]) Nach einer Drucksorte dieser Firma.

Die langen Schraubhaken dienen hauptsächlich dazu, in Decken an beliebigen Stellen Ringisolatoren befestigen zu können.



Fig. 231. Stahldorn.

Da Nägel im allgemeinen im Verputz nicht halten, so muss vorher ein kleiner Holzdübel in der Wand befestigt werden.

Dazu dient ein neues Verfahren.

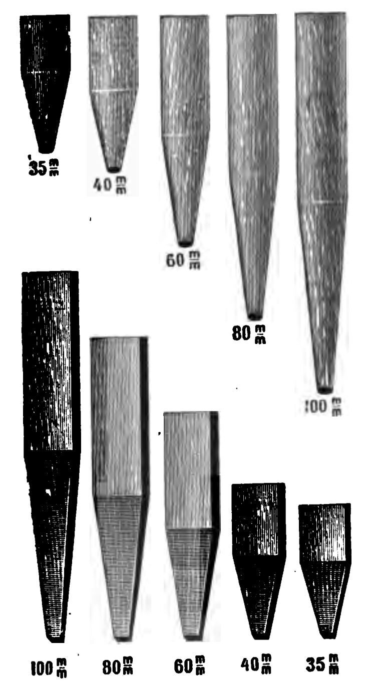


Fig. 232. Holzdübel.

In die Wand wird mit einem Stahldorn, Fig. 231, ein Loch geschlagen. Der Dorn ist so konstruiert, dass er direkt in Ziegelsteine eingetrieben werden kann, und schlägt der Monteur den Dorn bis zum Griff in die Wand.

Der eingeschlagene Dorn wird dann etwas gedreht, eventuell mit einem Schraubenschlüssel und vorsichtig aus dem Loch gezogen. Geschieht dies nur einigermaßen vorsichtig, so ist in der Wand ein glattes, rundes konisches Loch und es entsteht beim Herausziehen des Dornes keine Spur von Staub.

In dieses Loch wird dann ein Holzdübel von 40 *mm* Fig. 232, eingeschlagen.

Da nicht alle Wände gleich fest sind, würden in manchen Fällen die kurzen Dübel von 40 *mm* nicht halten. Für solche Wände kommen entsprechend längere Dübel, Fig. 232, zur Verwendung. Für die Dübel von über 40 *mm* Länge, ist natürlich auch ein längerer Stahldorn erforderlich, welcher je nach Bedarf tiefer oder weniger tief eingeschlagen wird.

Will man gegen Lockerwerden der Dübel gesichert sein, so bestreicht man ihre Spitze mit etwas Fischleim.

Ist der Holzdübel eingeschlagen, so wird der Nagel mittelst eines besonderen Eisens, Fig. 233, in den Holzdübel eingetrieben. Sitzt der Nagel fest, so drückt man den Ring in den Haken.

Die ganze Arbeit, Loch schlagen, Dübel einsetzen, Nagel eintreiben, Ring einsprengen, welche ohne jeden Staub und Schmutz ausgeführt werden kann, ist in einer Minute bequem auszuführen.

Will man Holzdübel nicht verwenden, und sollen die Leitungen wegen Tapezierens oder sonstiger Arbeiten öfter abgenommen werden können, so sind statt der Holzdübel kleine gehärtete Stahldübel,



Fig. 233. Einschlagen des Nagels in das Dübel.

Fig. 234, zu verwenden und zwar in verschiedenen Längen je nach Härte des Mauerwerks.

Die Stahldübel haben an dem Kopfende einen cylindrischen Ansatz mit Gewinde, und werden mit einem Stahlsetzeisen, welches für den Gewindetheil ausgebohrt ist, eingeschlagen.



Fig. 234. Stahldübel.

Fig. 235. Stahldübel.

Fig. 236. Unterlassscheibe.

Fig. 237. Klemmisolator.

Für diese Stahldübel sind die Rosetten im Inneren mit entsprechendem Gewinde versehen, Fig. 235.

Will man eine Beschädigung der Tapeten durch Aufschrauben der Halter vermeiden, so ist zwischen den Haltern und der Tapete eine Unterlagsscheibe Fig. 236, einzulagern.

Die Stahldübel bewähren sich ausgezeichnet, sind sehr schnell eingeschlagen und außerordentlich fest. Die Montage kostet nicht mehr als die Montage mit Holzdübeln, trotzdem die Stahldübel naturgemäß theuerer sind.

Statt Kabelklemmen kommen neuerdings vielfach Klemmisolatoren zur Verwendung. Die Klemmisolatoren bestehen aus zwei Ringhälften, Fig. 237, welche mit zwei oder drei Nuten ausgerüstet sind, in welche die Drähte eingelegt und von dem stark federnden Haken fest gepresst und so gehalten werden, Fig. 238.

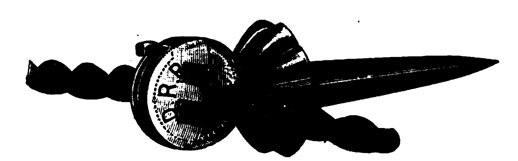


Fig. 238. System Peschel.

Außer diesen beiden Anordnungen besteht noch eine dritte Anordnung, welche sich durch große Billigkeit und Zuverlässigkeit auszeichnet, und welche sowohl in Porzellan als auch in farbigem Glas geliefert werden kann.

Die Abspannvorrichtung zeigen Fig. 239 bis 242 in Schnitten und Ansichten.

Wie aus dem Schnitt zu ersehen ist, besteht die Klemmvorrichtung aus zwei in einander verschiebbaren Theilen, zwischen welche die Leitungen

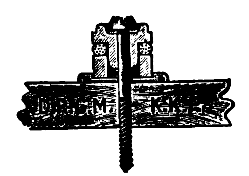


Fig. 239. Abspannvorrichtung.

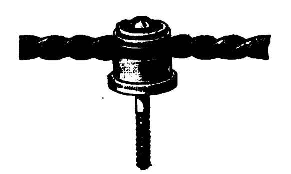


Fig. 240. Abspannvorrichtung.

eingelegt und mit der Befestigungsschraube festgeklemmt werden. Die Klemmrollen sollen gemeinsam mit Ringisolatoren, können jedoch auch allein Anwendung finden.

Schalteranschlussdose, Fig. 243 und 244.

Zum Einbau von Schaltern in festverlegte Mehrfachleitungen empfehlen Hartmann & Braun nachfolgend beschriebene Drahtanordnung in Verbindung mit einer Abzweigvorrichtung.

Bisher wurde von der Sicherung zu dem Stromverbraucher eine Doppelleitung geführt und der Schalter durch Verlöthung oder

Verflechtung von Leitungen in den Stromkreis eingefügt. Beide Arten des Schaltereinbaues haben große Nachtheile, welche einmal durch die Lötharbeit bedingt sind, dann in der mühsamen und zeitraubenden Flechtung und dem damit verbundenen Materialverlust ihre Ursache haben. Diese Fehler werden durch obige Anordnung beseitigt. Die eine

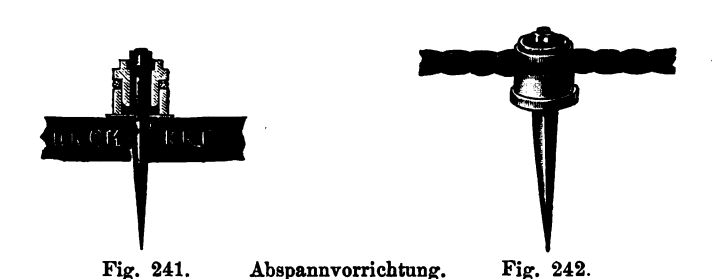


Fig. 241. Abspannvorrichtung. Fig. 242.

Leitung führt von der Sicherung aus bis zu den zwei Doppelklemmen der Abzweigvorrichtung. Eine zweite Leitung wird von dem Ausschalter durch die Abzweigvorrichtung nach dem Stromverbraucher geführt und dann in der Abzweigvorrichtung ein Draht der Leitung durchschnitten. Die so entstandenen Enden werden mit den beiden Doppelklemmen verbunden, dadurch dient die eine Drahthälfte zur Zuleitung zum Schalter, die andere Hälfte als Rückleitung von dem Stromverbraucher zur Abzweigvorrichtung. Es ist dabei gleichgiltig, ob vom Schalter

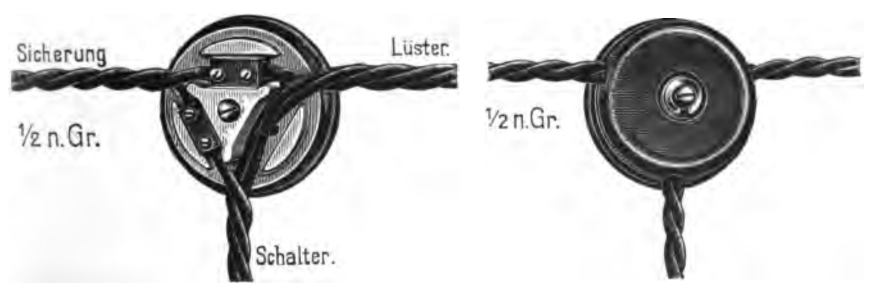


Fig. 243. Schalteranschlussdose. Fig. 244.

eine oder mehrere Leitungen nach dem Stromverbraucher zu ziehen sind. Die Montage ist außerordentlich einfach, solid und billig und wird in der nachstehenden Reihenfolge ausgeführt:

Senkrecht über dem Schalter ist die Abzweigvorrichtung zu befestigen.

Montage mit Holzschrauben:

1. Aufschrauben des Porzellanfußes.
2. Montiren der Leitungen.
3. Aufsetzen des Papierdeckels.
4. Einschieben der gabelförmigen Unterlagscheibe zwischen Deckel und Schraubenkopf.
5. Anziehen der Holzschraube.

Montage mit Stahldübeln:

1. Einschlagen des Stahldübels. (Der Schaft soll 1 *mm* aus der Wand stehen.)
2. Aufschieben des Porzellanfußes.
3. Aufschrauben der Messingmutter, jedoch nicht vollständig.
4. Montieren der Leitungen.
5. Aufsetzen des Papierdeckels.
6. Einschieben der gabelförmigen Unterlagscheibe zwischen Messingmutter und Deckel.
7. Festziehen der Messingmutter.

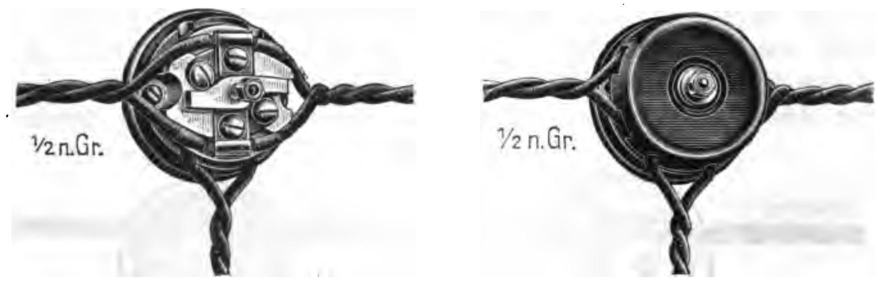


Fig. 245. Abzweigvorrichtung. Fig. 246.

Abzweigvorrichtung für Litzenmontage, Fig. 245 und 246.

Das Löthen zwischen den Enden von Mehrfachleitungen ist durch die Sicherheitskommission des Verbandes Deutscher Elektrotechniker verboten.

Hartmann & Braun empfehlen deshalb zur Herstellung von Abzweigungen nach Lampen oder Lampengruppen eine neue Abzweigvorrichtung. Dieselbe dient zum zweipoligen Anschluss an die Hauptleitung und ist hauptsächlich für sogenannte Doppelleitungsmontage bestimmt. Die wesentliche Eigenthümlichkeit der Konstruktion liegt in

der vollständig guten Isolierung der sich kreuzenden positiven und negativen Leitungen, welche insofern durch die Konstruktion der Grundplatte aus Isoliermaterial (Porzellan, Glas, Speckstein etc.) vor gegenseitiger Berührung geschützt sind, als die Hauptleitung und Abzweigleitung in verschiedenen Ebenen liegen und in den Isolierkörper eingebettet sind. Fig. 245 zeigt die Dose ohne Deckel, Fig. 246 die geschlossene Dose.

Die Dose besteht aus einem Isolierstück, in welches zwei Doppelklemmen eingelassen erscheinen. Auf der Stirnseite finden zwei Zangenklemmen in bekannter Art Verwendung, zwischen welche die isolierten Hauptleitungen liegen. Diese Zangenklemmen werden durch seitliche Lappen mit zwei Schraubklemmen verbunden, deren Klemmenschrauben auf der Stirnseite neben den Zangenschrauben sichtbar sind. Die beiden Schraubklemmen werden in den Isolirfuß eingelassen. Der Isolierfuß hat zwei Durchbohrungen zur Aufnahme der isolierten Enden der abgezweigten Leitung. Die Durchbohrungen des Isolierfußes werden so angeordnet, dass die eingeschobenen Drähte in die Schraubklemmen geführt und mit dem Klemmschrauben festgespannt erscheinen, wodurch sie mit den Hauptleitungen durch die Doppelklemmen leitend verbunden sind.

Als Vorzüge dieser Konstruktion gelten:

1. Leichte bequeme Montage.
2. Sichere Isolation.
3. Unabhängigkeit von der Zuverlässigkeit der Monteure.
4. Leichte Kontrolle.

Die Abzweigdosen werden entweder mit Schrauben oder mit Stahldübeln auf der Wand etc. befestigt. Die Montage erfolgt in nachstehender Reihenfolge.

Montage mit Holzschrauben:

1. Einschrauben der Holzschraube.
2. Aufsetzen der Abzweigvorrichtung.
3. Montieren der Leitungen.
4. Aufsetzen des Papierdeckels.
5. Einschieben der gabelförmigen Unterlagscheibe zwischen Deckel und Schraubenkopf.
6. Anziehen der Holzschraube.

Montage mit Stahldübeln:

1. Einschlagen des Stahldübels (Schaft soll 1 *mm* aus der Mauer stehen).
2. Aufsetzen der Abzweigvorrichtung.
3. Aufschrauben der Messingmutter (nicht vollständig).

4. Montieren der Leitungen.

5. Aufsetzen des Papierdeckels.

6. Einschieben der gabelförmigen Unterlagscheibe zwischen Deckel und Messingmutter.

7. Festschrauben der Messingmutter.

72. Verlegung mittelst Klemmen, Fig. 247. Die Klemmen bestehen aus Holz, Glas, zumeist aber aus Porzellan. Die zwei Theile (Backen) derselben werden, sammt der Leitung, entweder auf Dübel oder auf Holzleisten aufgeschraubt.

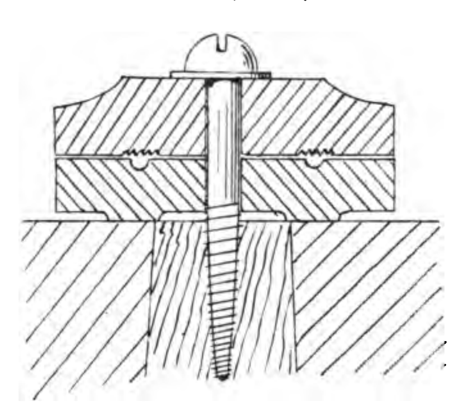


Fig. 247. Verlegung mittelst Klemmen.

73. Verlegung in Holzleisten. Diese Verlegung der Leitung erfolgt in, mit Nuten versehenen Holzleisten, Fig. 248. Die Holzleisten können entweder an die Mauer oder die Decke oder unter den Verputz auf Holzdübel aufgeschraubt werden. Das Bild zeigt eine bei der Firma Ganz & Co. in Budapest übliche und vielfach erprobte Verlegungsweise.



Fig. 248. Verlegung in Holzleisten.

74. Verlegung in Holzkästen. In sehr feuchten Mauern verlegt man die Leitungen, zur Erzielung sehr hoher Isolationswiderstände in Holzkästen (Holzkanäle); in den letzteren sind Porzellanrollen oder Isolierglocken zum anbinden der Leitungen aufgeschraubt.

75. Verlegung in Papierröhren.

Das Hausinstallationssystem Bergmann-Elektricitätswerke A.-G. in Berlin [Ludwig Hess (Viereckel) in Wien].

Einer der jüngsten Zweige der Technik, die moderne Elektro-

technik, verdankt ihr rasches Emporblühen der hohen Entwickelung seiner verwandten Wissenschaften und Künste, die durch langjährige Erfahrung mustergiltige Vorbilder schufen. So schließt sich das Bergmann-System an das vollkommen ausgebildete Rohrsystem der Gasinstallateure an; es stellt somit ein Hausinstallationssystem vor, an dessen zweckentsprechende Ausführung jeder tüchtige Handwerker schreiten kann.

Zuerst wurden Versuche angestellt, die Leitungen in die Gasröhren selbst zu verlegen. Diese Versuche ergaben, da das Eisen ein guter Wärmeleiter ist, eine sehr starke Bildung von Kondensationswasser in den Röhren. Man musste deshalb nach einem andern Rohrsysteme, dessen Materiale ein schlechter Wärmeleiter beistellt, Umschau halten. Ein solches System wurde zuerst von der Interior Conduit and Insulation Company in New-York erzeugt.

S. Bergmann & Co. haben schon von Amerika aus, diese Röhren in Europa eingeführt und im Jahre 1891 die Fabrikation derselben in Berlin aufgenommen.

Das Materiale der Röhren besteht aus einer Papiermasse. Mit den Röhren werden die Decken und Wände von Innenräumen (insbesondere Wohnräumen) versehen, sodass die Leitungen jederzeit, selbst erst lange Zeit nach Fertigstellung des Baues, in die Röhren eingezogen oder aus denselben herausgezogen werden können.

I. Das Zugehör.

1. Die Röhren. Die Röhren sind aus einer imprägnierten Papiermasse hergestellt und haben ein den Hartgummiröhren ähnliches Aussehen. Durch die Imprägnierung erlangen die Röhren die nöthige Festigkeit und Härte, werden wasserdicht, erhalten einen hohen Isolationswiderstand und bekommen innen und außen eine gleichmäßige Oberfläche. Die Röhren werden in den lichten Weiten von 7, 11, 16, 23, 29, 36 und 48 *mm* angefertigt. Das 7 *mm* Rohr findet hauptsächlich für Haustelegraphen und Telephonleitungen praktische Verwendung. Die Wände der Röhren werden so stark bemessen, dass die Röhren von 11 *mm* aufwärts ineinander Platz finden; die letzteren sind entweder gerade oder ellbogenförmig und doppelt gekrümmt (S-förmig). Die geraden Röhren haben eine Länge von 3 *m*. Sämmtliche Röhren werden in der Regel mit einer angeschlossenen Verbindungsmuffe, Ellbogen und Kröpfungsstücke mit einer angeschlossenen Verbindungsmuffe oder mit zwei angeschlossenen Verbindungsmuffen geliefert.

Fig. 249 zeigt zwei miteinander durch eine Muffe verbundene, gerade Röhren, während Fig. 250 einen Ellbogen sammt zwei Muffen darstellt.

Zum Verlegen in Cement werden die Isolierröhren, um sie von den, in dem Cement enthaltenen, Ätzlaugen zu schützen, mit einem

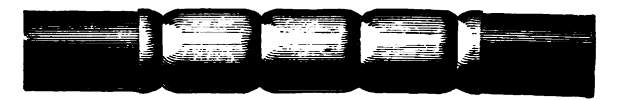


Fig. 249. Muffenverbindung.

Fig. 250. Ellbogen mit zwei Muffen.

Fig. 251. Ellbogen mit Metallüberzug.

Fig. 252. Rohrschützer.

Fig. 253. Messingband.

Fig. 254. Rohrschelle.

Fig. 255. Doppelte Rohrschelle.

Überzug aus Stahl- oder Messingblech versehen. Alkalien greifen Stahl und Messing nicht an. Diese Röhren können deshalb in Betonfußböden und sonstiges Cementmauerwerk eingebettet werden.

Fig. 251 veranschaulicht einen Ellbogen mit Metallüberzug und angeschlossenen Muffen.

Damit die Röhren vollständig gerade erhalten bleiben, ist es erforderlich, dieselben liegend aufzubewahren.

Es tritt häufig der Fall ein, dass offen verlegte Röhren, der Zimmereinrichtung entsprechend, bemalt werden sollen. Da die Isolierröhre in ihrem natürlichen Zustande keine Ölfarbe annehmen, ist es erforderlich, sie vorher mit aufgelöstem Schellack anzustreichen; sodann lässt sich die Ölfarbe ohne Schwierigkeit auftragen.

Zur Befestigung der Röhren an die Mauer oder unter Verputz dienen:

a) Die Krampen. Das in Fig. 252 abgebildete Werkzeug hat den Zweck, das Rohr vor zu starkem Antreiben der Krampen zu schützen.



Fig. 256. Tortierter Eisendraht.

b) Die Messingbänder, Fig. 253. Das Band wird vermittelst einer Schraube, welche durch das, in der Figur ersichtliche, Loch führt, an der Wand oder Decke befestigt, um das Rohr herumgelegt und dadurch geschlossen, dass man die Zunge durch den Schlitz hindurch steckt und umbiegt.

c) Die Rohrschellen. Bei offener Verlegung der Röhren werden, sowie bei der Gasinstallation, zweckmäßig Rohrschellen, Fig. 254 und 255, verwendet.

d) Die tortierten Eisendrähte. Bei der Verlegung unter Verputz bedient man sich in der Regel des, in Fig. 256 veranschaulichten, Eisendrahtes. Derselbe wird ohne Dübel einfach vermittelst eines Nagels an das Mauerwerk befestigt. Die beiden Enden des Eisendrahtes werden um das Rohr herumgeschlungen.

2. Die Dosen. Die Dosen sind ebenfalls aus derselben Papiermasse hergestellt, haben starke Wände und sind mit einem Metallrand, welcher einen vollständigen Verschluss des Deckels sichert, versehen. Für besondere Zwecke werden auch die Dosen mit einem Metallblech überzogen. Die Dosen kommen in 16 verschiedenen Abänderungen und in 2 verschiedenen Größen mit den Durchmessern von 55 und 78 *mm* zur Ausführung.

Fig. 257 gibt eine solche Abzweigdose wieder.

Fig. 258 stellt eine in den Dosen verwendbare Abzweigscheibe dar. Diese Abzweigscheiben sind aus Porzellan angefertigt und machen Löthstellen entbehrlich. Die Anordnung der Abzweigscheiben ist derart,

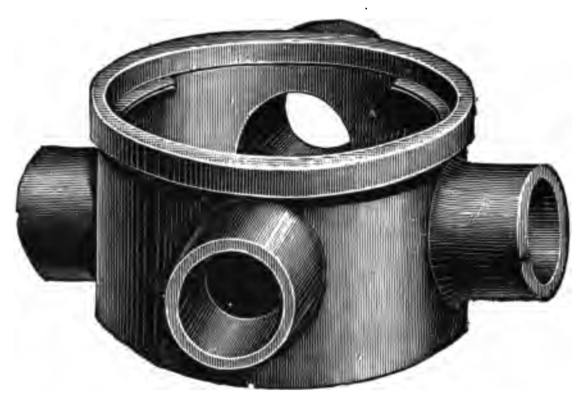


Fig. 257. Abzweigdose.

dass beliebig nach einer oder zwei Seiten gleichzeitig abgezweigt werden kann, oder dass eine der beiden Klemmen nach dem Stromabnehmer, die andere dagegen nach einem einpoligen Ausschalter führt, während ein verbindender Leitungsdraht, von dem Ausschalter über die Ab-

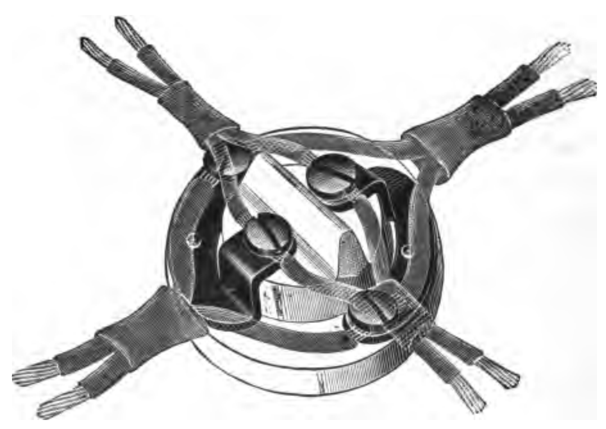


Fig. 258. Abzweigscheibe.

zweigscheibe hinweg, an den Stromabnehmer anschließt. Alle Abzweigdosen werden mit einfachen und doppelten Anschlüssen für Mauerdurchführungen versehen. Eine solche Dose mit einfacher Mauerdurchführung zeigt Fig. 259; eine in derselben platzfindende Abzweigscheibe

mit centrischer Öffnung gibt Fig. 260 wieder. Den Verschluss der Abzweigdosen besorgt der in Fig. 261 veranschaulichte Deckel. Fig. 262 stellt einen doppelpoligen Porzellanbleischalter für eine Dose dar. In Fig. 263 erscheint ein Momentausschalter mit stromfreiem Drehstern in einer Dose untergebracht. Nach außen hin sind nur der Deckel und der Griff des Ausschalters sichtbar, die Dose schließt mit der Wand ab. Auch bei offener Montage finden ähnliche Ausschalter Verwendung.

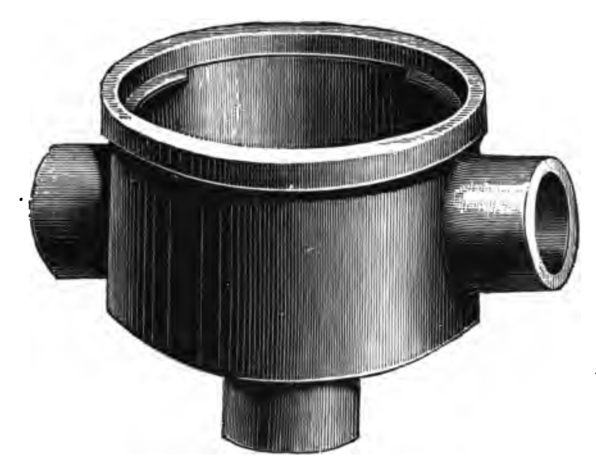


Fig. 259. Dose für Mauerdurchführung.



Fig. 260. Abzweigscheibe.

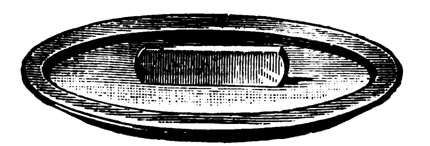


Fig. 261. Dosendeckel.

Die nachträgliche Herstellung von Abzweigungen an bereits fertigen Leitungen wird durch getheilte Abzweigdosen vorgenommen.

Die Dosen zerlegen, behufs Einziehens und Auswechselns der Drähte, Prüfung der Leitung u. s. w., größere Leitungslängen in Unterabtheilungen. Befindet sich eine Dose an der Decke, so kann man durch eine Öffnung des Deckels eine Leitungsschnur führen. Die Dose trägt z. B. eine Schraubenmutter, Fig. 264, in welche ein Papierrohr als Pendel für eine Hängelampe vermittelst eines Schraubengewindes,

eingeschraubt wird. Ähnlich befestigt man an Dosen, welche an der Wand angebracht sind, Wandlampen (Wandarme).

3. Die Vertheilungskästen, Fig. 265. Die Vertheilungskästen sind aus Papiermasse oder aus Gusseisen mit patentierter Isolierauskleidung hergestellt; sie tragen, sowie die Dosen, einen Metallrand. Der aus Messing gegossene Deckel des Vertheilungskastens besitzt eine bajonettartige Verschlussvorrichtung. In neuester Zeit werden bei den Hausinstallationen die Bleisicherungen möglichst an einem Orte vereinigt, während sie früher über das ganze Gebäude vertheilt waren. Man schafft auf jedem Stockwerke Vertheilungscentren, durch welche die Haupt- und Steigleitungen hindurchlaufen; von diesen Centren führen die Nebenleitungen unmittelbar nach den einzelnen Beleuchtungskörpern.



Fig. 262. Porzellanbleischalter.

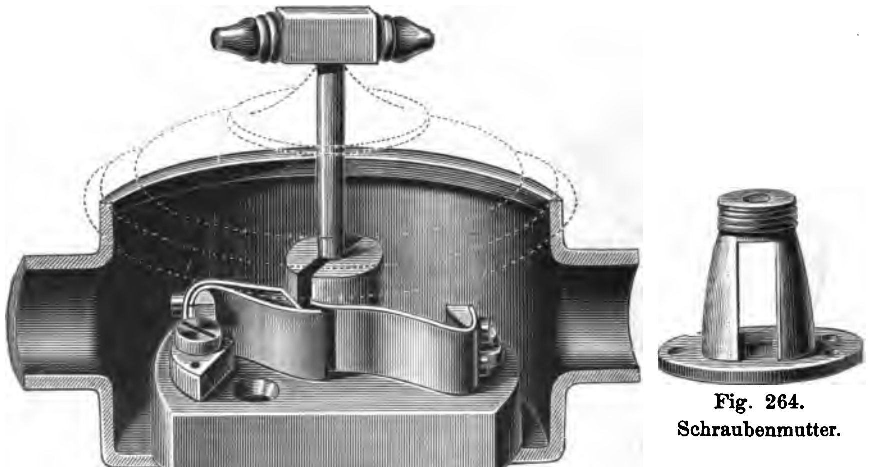


Fig. 263. Momentausschalter.

Fig. 264. Schraubenmutter.

Die Vertheilungskästen enthalten Schalttafeln aus Porzellan, eisenfreiem Schiefer oder Marmor, Bleisicherungen, Ausschalter u. s. w. Die Schalttafeln und Vertheilungskästen sind durchwegs leicht zugänglich und feuersicher; es ist besonders darauf Rücksicht genommen, dass sie möglichst wenig Raum einnehmen. Sämmtliche Typen der Kästen sind für

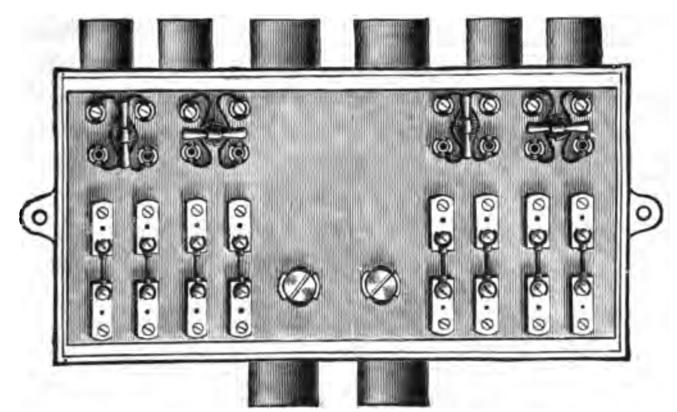


Fig. 265. Vertheilungskasten.

das Zwei- und Dreileitersystem eingerichtet. Zum Zwecke der Ausgleichung der Belastung im Dreileitersystem kann jeder Stromkreis auf die eine oder die andere Seite des Systemes geschaltet werden. Die Vertheilungskästen sind feuersicher, bestehen aus gut isolierendem Materiale, sind leicht zugänglich und nehmen wenig Raum ein. Die Vertheilungskästen für das Zwei- und das Dreileitersystem werden für die sämmtlichen Rohrgrößen angefertigt und zerfallen weiters in Vertheilungskästen für durchgehende und endigende Hauptleitungen.

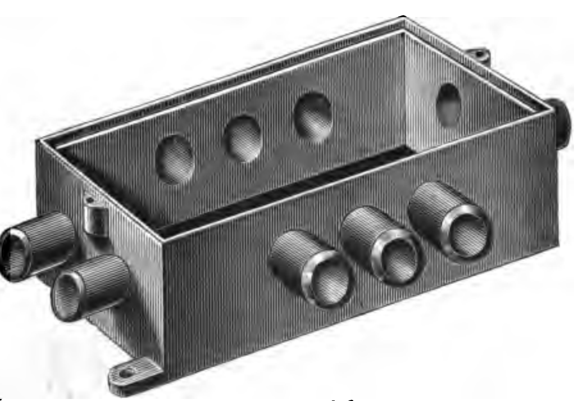


Fig. 266. Abzweigkasten.

4. Der Abzweigkasten, Fig. 266 und 267. Zur bequemen Herstellung von Zweigleitungen dienen die sogenannten Abzweigkästen mit Isolierauskleidung mit PorzellanbleischalterFig. 266 u. 267 für das Zwei- und Dreileitersystem.



Fig. 267. Deckel zum Abzweigkasten.

5. Die gusseisernen Winkelkästen, Fig. 268 und 269. Die Winkelkästen sind aus Eisen gegossen und mit einer Isolierauskleidung versehen. Starke Kabel für Röhren von 29 und 36 *mm* lichten Weiten lassen sich sehr schwer durch Ellbogen mit kurzen Halbmessern ziehen. Statt dieser Ellbogen empfehlen sich deshalb Winkelkästen.

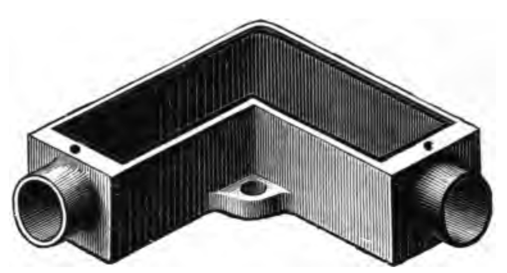


Fig. 268. Winkelkasten.

Dieselben sind in erster Linie für die offene Verlegung des Rohres mit Metallüberzug bestimmt, für welchen Zweck dieselben aus Messing gegossen werden; sie sollen da zur Verwendung kommen, wo es sich darum handelt, eine Leitung scharf um eine Ecke zu führen. Die Deckel bestehen aus demselben Metall wie die Kästen; letztere bleiben dauernd zugänglich. Für die gewöhnlichen Röhren lassen sich die Winkelkästen aus Gusseisen bei offener Verlegung oft mit Vortheil verwenden.



Fig. 269. Winkelkasten.

6. Die Pendel. Die Rohrpendel werden bei hübscher Ausstattung allen Ansprüchen auf Billigkeit gerecht. Die einfachste Form stellt der Monteur auf der Installation mit den einfachsten Mitteln aus dem Isolierrohr her. Ein anderes Pendel besteht aus poliertem Isolierrohr mit Messingüberzug; dasselbe schmücken ein Mittelknauf und eine polierte Baldachinschale. Die oberen und unteren Metalltheile werden bei der Herstellung der Pendel auf einer Spiritusflamme erwärmt und auf

das Isolierrohr aufgeschoben. Zum Anschluss der Fassung eignet sich ganz besonders der folgend beschriebene Zwillingsleiter.

7. Die Wandeinsätze aus Holz dienen zum Befestigen von Ausschaltern und Kontaktbüchsen mit Isolieranschluss, Fig. 270. Diese Mauereinsätze werden in die Wand eingeputzt und die Ausschalter oder Mauerdosen unmittelbar auf dieselben aufgeschraubt. Der Durchmesser der Wandeinsätze soll etwas kleiner sein, als derjenige der Ausschalter, beziehungsweise Mauerdosen.



Fig. 270. Wandeinsatz.



Fig. 271. Wandkontakt.



Fig. 272. Stöpsel zum Wandkontakt.

8. Die Wandkontakte in Abzweigdosen mit Stöpseln, Fig. 271. Aus dem Stöpsel, Fig. 272, ragt der Leitungsdraht hervor, welcher an den Stromnehmer anschließt.

9. Die Leitungsmaterialien. An die Stelle eines koncentrischen Zwillingsleiters, in welchen die beiden Leiter koncentrisch gegeneinander angeordnet waren, tritt in neuester Zeit ein Doppelleiter, der aus zwei nebeneinander laufenden, mit Gummi isolierten, biegsamen Kupferlitzen besteht; letztere sind, sowie es Fig. 273 zeigt, durch eine gemeinsame Umklöppelung vereinigt. Die Verwendung dieses Doppel-

leiters ist fast in allen Elektricitätswerken zugelassen; derselbe gibt dem Installateur ein brauchbares Mittel an die Hand, die Leitungen mit möglichst geringen Kosten herzustellen. Die Verlegung dieser Leiter in ein und dasselbe Rohr beschränkt sich jedoch auf die Abzweigungen zu den einzelnen Stromnehmergruppen, während Hauptleitungen und überhaupt Drähte, welche höhere Stromstärken leiten, getrennt in je einem Rohre verlegt werden. Die Isolation dieses Zwillingsleiters ist vollständig frei von alkalischen Beimengungen.

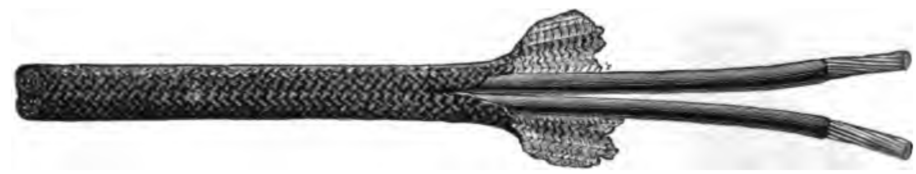


Fig. 273. Zwillingsleiter.

II. Das Werkzeug.

1. Die Zange. Fig. 274 dient zur Herstellung von Verbindungen zwischen den Röhren. Die Messing- und Stahlmuffe wird mittelst der Zange an vier Stellen gewürgt. Legt man die Backen der Zange an die Muffe an und presst die Backen, unter gleichzeitigem Drehen, an das Rohr, so entstehen je zwei Würgestellen, wie in Fig. 218 und 219.



Fig. 274. Zange.

2. Der Metallrohrabschneider, Fig. 275, stellt ein Schneidewerkzeug dar, welches zur Verbindung der Metallröhren Verwendung findet. Vermittelst dieses Werkzeuges werden die Enden der Metallröhren so durchschnitten, dass eine Verletzung der Isolierröhren ausgeschlossen erscheint. Dasselbe Werkzeug dient für alle Rohrgrößen. Durch eine in der Fig. 275 ersichtliche, an dem Abschneider angebrachte Stellschraube wird das Schneiderädchen so eingestellt, dass nur der Metallmantel, nicht aber das Isolierrohr durchschnitten wird. Das Werkzeug ist so eingerichtet, dass, wenn man das Rohr auf den unter dem Rädchen befindlichen, cylindrischen Zapfen bis an die Führungsscheibe schiebt, etwa 15 *mm* des Metallmantels abgeschnitten wird.

3. Die Setzeisen, Fig. 276 und 277 dienen zum genauen Aufstecken der Muffen. Das in der Fig. 276 dargestellte Setzeisen findet bei gewöhnlichen Isolierröhren, jenes in Fig. 277 wiedergegebene dagegen bei Isolierröhren mit Metallüberzügen Verwendung. Der Dorndurchmesser des Setzeisens ist dem Außendurchmesser des Rohres genau gleich. Man schiebt die Muffe zunächst auf das Setzeisen, so dass

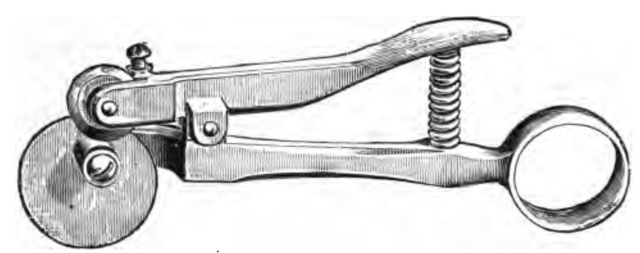


Fig. 275. Metallrohrabschneider.

dasselbe bis in die Mitte der Muffe hineinragt, hält Muffe sammt Setzeisen z. B. in einem Schraubstock fest und schiebt das erste zu verbindende Rohr, während man die Muffe erwärmt, bis an den Dorn des Setzeisens. Nachdem man das Setzeisen sodann aus der Muffe herausgezogen hat, schiebt man anstatt desselben, das zweite zu verbindende Rohr in die warm gehaltene Muffe und würgt dieselbe mit der Zange. Die zu verbindenden Röhren stoßen dann genau in der Mitte der Muffe gegeneinander.



Fig. 276. Setzeisen.



Fig. 277. Setzeisen.

4. Das Stahlband. Ein Stahlband von 20 *m* Länge trägt an dem einen Ende eine Kugel, an dem andern eine Öse. Das Stahlband dient zum Einziehen der Leitungen; zu diesem Zwecke schiebt man dasselbe, mit der Kugel voran, durch das Rohr und befestigt an die Öse desselben die Leitung und zieht dieselbe durch das Rohr.

5. Die Säge. Zum Abschneiden der Isolierröhren findet eine Säge Verwendung.

6. Die Schneidlade besteht aus einer prismatischen Holzrinne, welche an gerade oder schräge gegenüberliegenden Stellen der

Seitenwand Schlitze enthält; letztere dienen als Führung für die Säge beim Abschneiden des in der Rinne befindlichen Rohres.

III. Die Verlegung.

Die Verlegung der Röhren führt man am besten so durch, dass man das zu installierende Gebäude an verschiedenen geeigneten Punkten mit unabhängigen Steigleitungen versieht; damit erreicht man möglichst kurze Abzweigungen und eine möglichst geringe Anzahl von Ellbögen. Bei Steig- und Hauptleitungen ist für jeden Draht ein besonderes Rohr zu verwenden. Alle Abzweigungen für Stromstärken bis zu 15 Ampère können durch Doppelleitungen mit beiden Polen in demselben Rohr ausgeführt werden; zu diesem Zwecke findet die besonders sorgfältig ausgeführte, äußert biegsame Doppellitze, Fig. 273 Verwendung.

Die Röhren sind, um das bequeme Ein- und Ausziehen der Drähte zu ermöglichen, von genügender lichter Weite zu wählen.

Zur Befestigung der Röhren, bei der Verlegung unter Verputz, sind besonders hergestellte Eisendrahtbefestigungen, Fig. 256, zu wählen; dieselben können vermittelst flachköpfiger Drahtstiften unmittelbar an das Mauerwerk, in den meisten Fällen ohne in dasselbe eingegipste Holzdübel befestigt werden. Bei offener Verlegung sind vorzugsweise die für diesen Zweck bestimmten Rohrschellen aus verzinktem Eisen oder aus Messing, Fig. 254 und 255, zu verwenden, deren Befestigung durch Drahtstifte erfolgt.

Krampen sollen nur dort, wo sich die Verwendung von Rohrschellen oder Befestigungsdrähten als unzulässig erweisen, platzgreifen Zum Einschlagen der Krampen dient das in Fig. 252 dargestellte Setzeisen. Bei der Verlegung unter Verputz empfiehlt es sich, wenn die Röhren an das Mauerwerk befestigt werden, dieselben von Stelle zu Stelle einzugipsen; dies ist insbesondere an solchen Stellen, wo die Röhren Kurven bilden, von ganz besonderem Werte, da hierdurch, beim späteren Einziehen der Drähte, ein Verschieben der Röhren vollständig ausgeschlossen erscheint.

Die Röhren sollen in möglichst großen Längen zur Verwendung kommen.

Die Rohrverbindungen sind mit größter Sorgfalt auszuführen: es ist besonders darauf zu achten, dass das Rohrende vermittelst einer kleinzähnigen Säge in einer Schneidelade rechtwinkelig abgeschnitten und der entstehende Grat mit einem scharfen Messer entfernt wird. Die Verbindung besorgt, bei den Röhren bis einschließlich 23 *mm* lichte Weite, eine Metallmuffe, in welche, nachdem dieselbe gelinde erwärmt wurde, beide Rohrenden derart eingeschoben werden, dass der

Stoß möglichst genau in der Mitte stattfindet, worauf die Enden der Muffe vermittelst der zu diesem Zwecke bestimmten Zange, Fig. 274, gewürgt werden. Für jede Rohrgröße ist die dazu besonders vorgesehene Zange zu verwenden.

Zwei für die ersten fünf Rohrgrößen passende Setzeisen, Fig. 276 und Fig. 277, dienen zum Aufstecken der Muffen und sichern den Stoß der Röhren genau in der Mitte der Muffen.

Verlegt man Röhren in einem offenen Bau bei großer Kälte, so dass sie nicht sofort eingeputzt werden können, dann ist es rathsam, die Metallmuffen mit einer Lage Isolierband zu umwickeln und mit etwas Asphaltlack zu überstreichen, da die Metallmuffen unter der unmittelbaren Einwirkung großer Kälte, infolge ungleichen Zusammenziehens des Metalles und der Isoliermasse, reißen könnten.

Die Verbindung der Röhren von 29 und 36 *mm* Durchmesser geschieht durch Muffen aus Isoliermateriale. Behufs vollständiger Abdichtung ist es erforderlich, die Rohrenden und Muffen vor dem Zusammenstecken schwach zu erwärmen. Bei Muffen aus Isoliermasse kommen die Zangen nicht zur Verwendung; hier ist die vollständige Abdichtung durch Verwendung des Verbindungskittes zu sichern.

In chemischen Papierfabriken und Salzwerken, überhaupt an Orten, wo die Luft mit Säuregasen, Chlorgasen oder sonstigen auf Metalle zerstörend einwirkenden Stoffen vermischt ist, sind alle Metallmuffen gänzlich zu vermeiden; statt derselben sind Muffen aus Isoliermaterial zu verwenden.

Für sehr geringe Krümmungen können die Röhren, wenn man sie vorher gelinde an einer Flamme erwärmt, etwas gebogen werden, doch müssen sonst in allen Fällen bei Krümmungen und Richtungsänderungen die besonders vorgesehenen Ellbogen- und Kröpfungsstücke, sowie die geraden Röhren, durch Metallmuffen Anschluss finden.

Ein und dieselbe Leitung soll nicht aus mehr als vier Röhren bestehen. Bei unter Verputz verlegten Leitungen erleichtern Ellbögen mit größeren Halbmessern häufig das Einziehen der Leitungen. Sind jedoch mehr als vier Ellbögen in einer Leitung unvermeidlich, dann ist an geeigneter, annähernd halbwegs gelegener Stelle eine Zwischendose einzusetzen, von welcher aus die Drähte nach beiden Richtungen, so dass bei dem Einführen dieselben sowohl, als auch die Röhren möglichst geschont bleiben, gezogen werden können. Finden von einer Zweigleitung aus mehrere Unterabzweigungen statt, dann bringt man an den betreffenden Stellen Abzweigdosen an. Diese Dosen können auch gleichzeitig zum Anbringen von Deckenpendeln verwendet werden. An Zimmerdecken dienen die Abzweigdosen nur zur Befestigung

von Deckenpendeln. In allen andern Fällen soll man das Einsetzen von Abzweigdosen an Zimmerdecken, als unschön, vermeiden. Eine Abzweigung an der Zimmerdecke lässt sich durch zwei aneinander stoßende Ellbögen bewirken; die Leitung tritt dann, unter Bildung einer kleinen Schleife, durch den einen Ellbogen aus der Decke heraus, während er durch den anderen weiter nach dem nächsten Stromnehmer geführt wird. Die Abzweigung bringt man dann außerhalb des Putzes an der Schleife an. Sollen Abzweigungen von der Hauptleitung unmittelbar durch eine Mauer geführt werden, dann bedient man sich mit Vortheil einer Abzweigdose, an deren Boden ein Abschluss für eine Mauerdurchführung angebracht ist. Die Mauerdurchführung trägt für Doppelleiter einen Einfach-, für Einzeldrähte einen Doppelanschluss. Zur Ausführung solcher Abzweigungen eignet sich besonders die Abzweigscheibe Fig. 260.

Es ist darauf zu achten, dass die Röhren völlig in die Dosenanschlüsse, jedoch nicht in die Dosen hineinragen.

Sämmtliche Abzweigdosen eignen sich auch zur Aufnahme von kleineren Ausschaltern; solche sind in den Größen für 3 und 6 Ampère ein- und doppelpolig vorgesehen.

Größere Ausschalter, sowie solche anderer Systeme, sollen auf Wandeinsätzen, Fig. 270, aufmontiert werden.

Wandkontakte, Fig. 271, bringt man vorzugsweise in Dosen mit nur einem Dosenanschluss unter.

Die Röhren werden vermittelst eines besonders durch Wärme flüssig zu machenden Verbindungskittes an den Dosenanschlüssen abgedichtet; der Kitt muss die Anschlussstelle ringsherum umgeben. Die Erwärmung, des in Stangen geformten Kittes, kann schon durch eine Lampe oder Kerze erfolgen.

In den zur Verwendung kommenden Zwillingsleitern sind die beiden Leitungen nebeneinander angeordnet. Zur Herstellung eines Anschlusses in einer Abzweigdose, wird der ununterbrochen hindurchlaufende Draht etwas aus der Dose herausgezogen, und die äußere Umklöppelung mit einem scharfen Messer auf einer Strecke von 5 *cm* entfernt. Durch diesen Vorgang erscheinen die Gummiadern bloßgelegt. Jetzt biegt man die beiden Leiter auseinander und entfernt von jedem Leiter die Gummiisolation auf einer Strecke von 2 *cm*, umwindet und verlöthet die abzuzweigenden Drähte in der üblichen Weise und umwickelt dieselben mit Isolierband. Statt der eben beschriebenen Verlöthung, empfiehlt sich auch die Verwendung der in der Fig. 258 wiedergegebenen Porzellanabzweigscheibe; durch diese Scheibe wird das Löthen und Isolieren vermieden.

Bei Anlagen, in welchen die Röhren unter den Verputz verlegt werden, sind die Enden der Zweigleitungen, gegen das Eindringen des Mörtels, besonders zu schützen. Die Dosen müssen, während des Putzens durch Deckel abgeschlossen sein. Zu diesem Zwecke sind eigene billige Eisendeckel bestimmt. Die Rohrenden haben mindestens 3 *cm* aus dem Putz herauszuragen.

Bei offener Verlegung sind die Rohrschellen in gerade verlaufenden Linien, in etwa 50 *cm* Entfernung von einander, anzubringen.

Wo Gasrohre oder sonstige Befestigungsvorrichtungen für Kronen oder Wandarme nicht vorhanden sind, ist eine besonders vorgesehene Enddose zu verwenden, welche in sorgfältiger Weise an das Holz- oder Mauerwerk der Decke oder Wand befestigt wird. Ein in diesen Dosen angebrachtes Gussstück, Fig. 264, dient zur Befestigung des Beleuchtungskörpers.

Vertheilungskästen mit Bleischalter sind an allen Steigleitungen, behufs Ausführung der Abzweigungen in den verschiedenen Stockwerken, einzusetzen. Die Körper der Bleischalter und Schalttafeln müssen aus Porzellan oder Schiefer gefertigt, und die Bleisicherungen mit Kupferenden versehen sein.

Hat man für die Röhren, während des Baues, besondere mechanische Beschädigungen zu befürchten, dann muss man in geeigneter Weise eine zeitweise und nöthigenfalls eine dauernde Schutzvorrichtung anbringen.

Das Verlegen der Röhren in Cement ist möglichst zu vermeiden; erscheint jedoch diese Verlegungsart unerlässlich, dann sind mit Metallüberzug geschützte Röhren zu verwenden.

Verlegt man die Hauptleitungen in getrennten Röhren, so genügen anstatt der kostspieligen, mit Gummi isolierten Drähte, solche mit einer doppelten Umklöppelung versehene Drähte. Für Zweigleitungen empfiehlt es sich, die besonders hierfür bestimmten Zwillingsdrähte zu verwenden. Wenn gewöhnliche, nicht gelitzte Drähte zur Verwendung kommen, wird das Einziehen der Leitungen erheblich erschwert; dann erweist es sich als vortheilhaft, an den Ecken eine Winkeldose einzusetzen.

Löthstellen in den Röhren sind unzulässig.

Sobald eine Rohrleitung gelegt ist, muss das mit einer Kugel versehene Stahlband, zur Beseitigung etwa vorhandener Hindernisse, durch dieselbe geschoben werden.

Es empfiehlt sich, jedesmal, nachdem ein neues Rohrstück, ein Ellbogen oder Kröpfungsstück an die Leitung angeschlossen wurde, ein zu diesem Zwecke eigens angefertigtes, 4 *m* langes Stahlband mit großer

Kugel über die neue Verbindungsstelle hinwegzuschieben; so bleibt der Rohrweg stets frei von Hindernissen. Sobald die Rohrleitungen fertiggestellt sind, bläst man vor dem Einschieben des Stahlbandes in jedes Rohr gepulverten Speckstein ein, so dass derselbe das Innere des Rohres, auf dessen ganzen Länge, mit einer dünnen Schicht bedeckt; hierauf wird, behufs Einführung des Drahtes, das Stahlband in das Rohr eingeschoben und mittelst desselben der Draht nachgezogen.

Alle Abzweig- und Zwischendosen sind durch Anbringung eines hierzu vorgesehenen Deckels zu schließen.

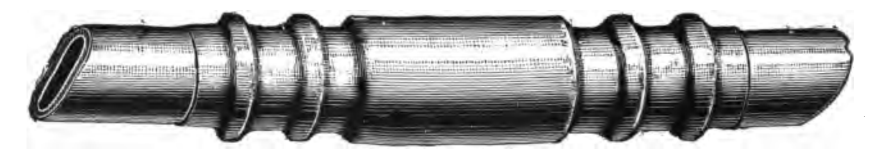


Fig. 278. Verbindung der Metallrohre.

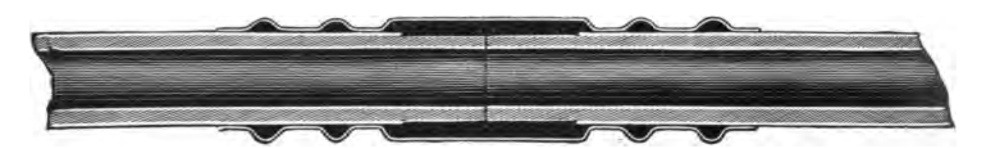


Fig. 279. Verbindung der Metallrohre (Schnitt).

Die Verbindungen der mit Metall überzogenen Rohre, Fig. 278 und 279, erfordern ganz besondere Sorgfalt. Vorerst wird mit Hilfe des Metallrohrabschneiders der Metallmantel von den zu verbindenden Enden auf einer Strecke von etwa 15 *mm* entfernt. Sodann streicht man auf die zu verbindenden Rohre, ungefähr 5 *mm* von den Enden, etwas geschmolzenen Verbindungskitt und führt die beiden Rohrenden so in die Muffe ein, dass die Stoßfuge möglichst genau in die Mitte derselben fällt. Die letztere Stellung zwischen Stoß und Muffe erreicht man durch die Verwendung des besonderen Muffensetzeisens, Fig. 277.

Die Muffe wird erst dann erwärmt, wenn die beiden Rohrenden in dieselbe eingeführt sind. Erwärmt man die Verbindungsstelle durch eine Spiritusflamme, so schmilzt der in den Rillen der Muffe befindliche Kitt und dichtet die Verbindung ab. An den Enden der Muffe etwa hervorquellender Kitt muss sorgfältigst entfernt werden. Der Kitt erkaltet in etwa 2 Minuten. Die Verwendung der Zange zur Herstellung dieser Verbindung ist ausgeschlossen.

Der Anschluss der Röhren an die Dosen findet genau in derselben Weise statt.

Der Verbindungskitt kann leicht in das Innere der Röhren eindringen; man muss deshalb nach Herstellung einer jeden Verbindung ein kurzes Stahlband durch die Verbindungsstelle schieben.

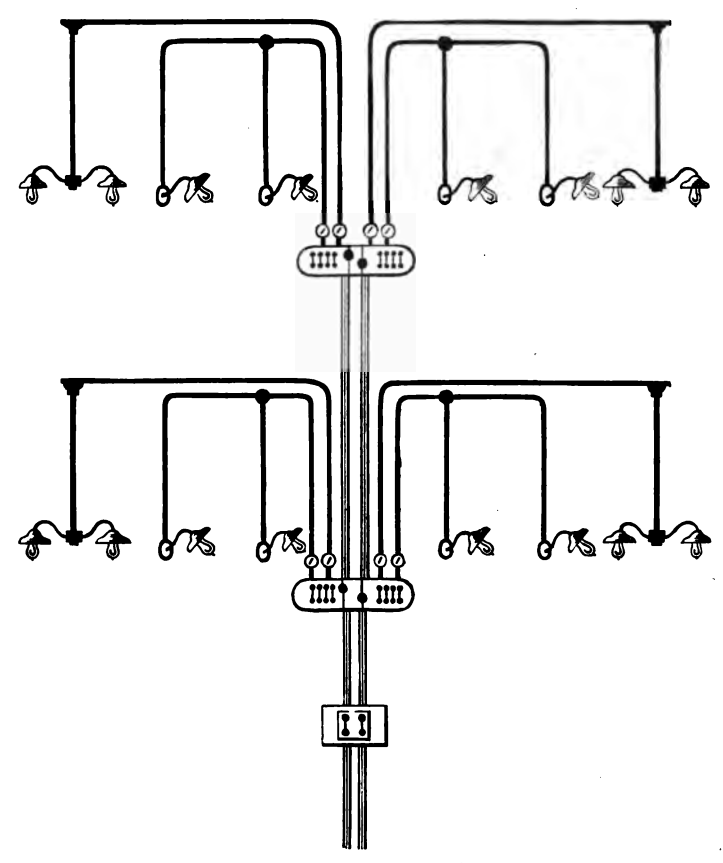


Fig. 280. Installationsschema.

Fig. 280 veranschaulicht ein Installationsschema. In den Steigleitungen sind in den einzelnen Stockwerken Vertheilungskästen angebracht, von welchen aus die Leitungen direkt zu den Beleuchtungskörpern führen.

IV. Die Vortheile.

1. Hohe und haltbare Isolation. Die Röhren bleiben im Putz unverändert und besitzen eine hohe mechanische Festigkeit. Die

Isolierröhren von 2·8 *mm* Wandstärke widerstanden, bei wiederholt angestellten Versuchen, einer Spannung bis zu 19000 Volt. Ein in die Röhren verlegter, blanker Kupferdraht zeigte einen Isolationswiderstand von 170 Megohm für 1 *km*.

2. Schutz der Leitungen gegen Feuchtigkeit. Die zur Imprägnierung der Röhren verwendete Isoliermasse löst sich weder im Wasser noch in Säuren auf. Die in den Röhren verlegten Leitungen sind daher, selbst in einer säurehaltigen Atmosphäre, dauernd gegen das Eindringen von Feuchtigkeit und gegen chemische Zersetzungen geschützt; sie eignen sich deshalb für chemische Fabriken, Färbereien und in Sammlerräumen. Für letztere Zwecke werden die Abzweigdosen mit einem elastischen Gummiabschluss versehen, und die Fassungen und Lampensockel gegen die Einwirkung der Säuredämpfe durch Gummi, hülsen geschützt. Die einzelnen Rohrlängen schließt man gewöhnlich-durch eine Muffe aus gezogenem Metall, aneinander; eine solche Verbindung widerstand einem Wasserdrucke von 3 Atmosphären ohne Undichtheiten zu zeigen. In säurehältigen Räumen tritt an die Stelle der aus Metall gefertigten Muffe eine solche aus Isoliermaterial.

3. Sicherheit gegen elektrische Entzündung. Dadurch, dass die Leitungen auf ihrer ganzen Länge von Röhren eingeschlossen sind, wird der Luftzutritt zu denselben fast vollständig abgeschnitten. Im Innern der Röhren kann daher keine Flamme entstehen. Ein Draht von 1 *mm* Durchmesser, versuchsweise zum Theile durch ein Stück Holzleiste, ein Stück Hartgummirohr und ein Stück Isolierrohr geführt, wurde durch einen Strom von 40 Ampère zur Rothglut gebracht. Nach einigen Sekunden platzte das Hartgummirohr und gieng in Flammen auf; hierauf entzündete sich die Holzleiste, während das Isolierrohr nicht beschädigt wurde, bis schließlich der Draht abschmolz.

4. Raumersparnis beim Verlegen. Die Verlegung der Isolierröhren unter Putz erfordert weniger Raum, als irgend eine andere Verlegungsweise; das übliche Einstemmen kann in vielen Fällen vollständig vermieden werden. Bei anderen Verlegungssystemen wurde häufig eine biegsame Leitungschnur als Zuleitung zu den Beleuchtungskörpern benutzt; von einigen Elektricitätswerken ist diese Leitungsschnur untersagt und durch unter Putz verlegte Isolierröhren ersetzt worden.

5. Die unter Verputz verlegten Leitungen bleiben dauernd zugänglich. Die Leitungen und Röhren dieses Systemes kommen nicht gleichzeitig zur Verlegung, sondern es werden die Leitungen erst nach Fertigstellung des Baues eingezogen. Man kann deshalb durch diese Verlegungsart, für späterhin zu benützende elek-

trische Anlagen, mit geringem Kostenaufwande vorbereiten. Die Leitungen können dann bei eintretendem Bedarfsfalle eingezogen werden, ohne die Wände und Decken, sowie deren Ausstattung, zu beschädigen; ebenso können bereits eingezogene Drähte behufs Prüfung, Auswechselung oder Vergrößerungen ihrer Querschnitte jederzeit aus den Röhren, ohne Beschädigung der Wände oder Decken, herausgenommen werden.

6. Vortheile der Isolierröhren mit Metallüberzügen. Diese Röhren schützen die Leitung gegen mechanische Beschädigungen und gegen die scharfe, in Cement enthaltene Ätzlauge. Sie eignen sich besonders zum Verlegen in Cementfußböden und sonstiges Cementmauerwerk. Alles bei dieser Installation erforderliche Zugehör, wie Ellbögen, Kröpfungsstücke und Abzweigdosen sind gleichfalls mit Metallüberzügen versehen. Für offene Verlegung werden diese Röhren sammt Zugehör poliert und gefirnist, so dass sich dieselben in elegant eingerichteten Räumen verwenden lassen. Das mit Messing überzogene, polierte Rohr eignet sich insbesondere für elektrische Schiffseinrichtungen. In Bergwerken, in welchen die Leitungen dauernd der Einwirkung der Nässe ausgesetzt sind, bieten die mit Messing überzogenen Röhren, in Verbindung mit den bereits erwähnten Gummiabdichtungen für Abzweigdosen und Lampenfassungen, einen vollkommen ausreichenden Schutz. Durch den Metallüberzug werden die Röhren auch von außen her unentzündlich und erscheinen deshalb auch insbesondere für Bühnenzwecke sehr geeignet.

Über das Verhalten der Papierröhren, wenn in denselben Leitungen überhitzt werden, geben einige vergleichende Versuche Aufschluss, welche am 20. December 1890 in der Edison-Centrale in Chicago angestellt wurden. F. Uppenborn[1]) berichtet über diese Versuche folgend:

1. Durch ein Rohr von 11 *mm* Durchmesser verlief das negative und positive Ende eines Stromkreises. Der Draht (Nr. 18 der B. W. G.) war mit in Paraffin getränkter Baumwolle isoliert. Es wurde ein Strom von 97 Ampère durch die Drähte hindurchgeschickt; in 30 Sekunden waren dieselben rothglühend und rauchten. Die Rohrleitung war die gewöhnliche; dieselbe wurde nicht verbrannt.

2. Zwei Drähte (Nr. 18 der B. W. G.) waren mit in Paraffin getränkter Baumwolle isoliert; ein Pol gieng durch eine Rohrleitung, der andere durch eine Holzleiste. Nachdem ein Strom von 97 Ampère eine Minute hindurchgieng, fieng die Holzleiste stark zu rauchen an und gieng nach 5 Minuten in Flammen auf. Die Rohrleitung war an den Enden weich geworden, fieng aber nicht zu brennen an.

[1]) F. Uppenborn, Elektrotechnische Zeitschrift, 1891, Heft 17.

3. Versuch 2 wurde unter Anwendung von geflochtenem, mit Gummi isoliertem Draht, mit dem nämlichen Ergebnis, nur dass die Holzleiste erst nach Verlauf von 7 Minuten brannte, wiederholt.

4. Ein mit Gummi isolierter Draht in einer feuersicheren Rohrleitung; die Rückleitung war in eine Holzleiste gelegt. Es wurde der Draht stark überlastet, sodass seine Isolation durchbrannte und derselbe in 10 Sekunden schmolz. Die Rohrleitung erlitt keinen Schaden, wogegen das Holz, auf welches die Rückleitung gelegt war, Feuer fieng.

5. Zwei Drähte wurden auf einem Brett, 60 *mm* von einander entfernt, in einem Punkte, wo die Drähte blank lagen, befestigt; das Holz war mit einer Lösung kaustischer Soda angefeuchtet. Als der Strom eingeschaltet wurde, bildete sich ein Kurzschluss an der angefeuchteten Stelle und nach einiger Zeit entzündete sich das Holz, während der Kurzschluss die Bleisicherungen nicht zu durchschmelzen vermochte.

6. Zwei Drähte, 1·5 *mm* voneinander entfernt, auf eine angefeuchtete Stelle gelegt. Sobald der Strom die Drähte durchfloss, bildete sich ein kleiner Lichtbogen über den angefeuchteten Fleck hinweg, aber beide Bleisicherungen schmolzen augenblicklich durch und das Holz entzündete sich nicht.

V. Kostenanschläge.

Selbst die sorgfältigst ausgearbeiteten Pläne gestatten keine genaue Bestimmung des gesammten erforderlichen Materiales in allen Einzelheiten. Nachstehend folgen einige Erfahrungsangaben für die verschiedenen zur Anwendung kommenden Materialien des Rohrsystemes; wenngleich diese Zahlen der Praxis entnommen sind, müssen dieselben doch, von Fall zu Fall, den örtlichen Verhältnissen entsprechend, abgeändert werden.

Röhren. Das erforderliche Rohrquantum lässt sich annähernd genau aus den Plänen ermitteln; es empfiehlt sich $^3/_4$ desselben mit Muffen und $^1/_4$ ohne Muffen einzusetzen.

Ellbögen. Bei kleineren Räumen darf auf je 3 *m* Rohr ein Ellbogen angenommen werden. Bei größeren Räumen genügt ein Ellbogen auf je 4 *m* Rohr. Sind für die Kronen größere Gipsrosetten vorgesehen, dann setzt man für jede Krone einen Ellbogen mit verlängertem Schenkel ein. Bei Verlegung der Röhren unter Putz, lassen sich mit Vortheil Ellbögen mit größerem Halbmesser anwenden; dann sind $^1/_3$ der erforderlichen Ellbögen einzusetzen.

Kröpfungsstücke. Auf je 10 *m* Rohr ist ein Kröpfungsstück zu veranschlagen.

Abzweigdosen und Abzweigscheiben lassen sich annähernd genau aus den Plänen feststellen. Sollen die Ausschalter in Dosen eingesetzt werden, dann kommt für jeden Einpoligen Ausschalter eine Dose Nr. 1 und für jeden doppelpoligen Ausschalter eine Dose Nr. 9 in Anschlag.

Befestigungsmateriale. Für jeden Meter Rohr sind zwei Befestigungen, entweder Befestigungsdrähte mit Nägeln oder Rohrschellen oder Messingbänder einzusetzen.

Leitungsmateriale. Bei Verwendung von Zwillingsleitern sowohl, als auch bei Einzelleitern in getrennten Röhren, ergibt sich die erforderliche Gesammtmeterzahl der Leitungen aus dem festgestellten Rohrquantum, wenn man wenigstens 5% zuschlägt.

Muffen. Außer den bereits an den Röhren und Ellbögen angebrachten Verbindungsmuffen ist weiters, für je 6 *m* Rohr, eine Verbindungsmuffe besonders vorzusehen.

Verschiedenes. Für eine Anlage von etwa 200 Glühlampen reichen ½ *kg* Verbindungskitt und 1 *kg* Specksteinpulver vollkommen aus.

VI. Kosten.

Die Einrichtungskosten des Rohrsystemes kommen in der Regel nicht höher zu stehen, als gut ausgeführte Verlegungen in Holzleisten oder auf Porzellanrollen; die Kosten der Röhren werden durch die Ersparnis an Leitungsmateriale und Arbeitszeit gedeckt. Für die gesammte Montage einer Hausinstallation, sammt Einziehen der Leitungen und Anbringen der Stromvertheilungskästen und Schaltbretter, können für 1 Monteur und 1 Arbeitsstunde 3·3 *m* Rohr in Ansatz gebracht werden. Es würde demnach eine Installation, in welcher 500 *m* Röhren zur Verwendung gelangen, 152 Arbeitsstunden in Anspruch nehmen, vorausgesetzt, dass die örtlichen Verhältnisse ein ununterbrochenes Arbeiten gestatten.

Es ist darauf zu achten, dass der Durchmesser der Röhren nicht zu knapp bemessen erscheint. Das 7 *mm* Rohr ist in erster Linie für Haustelegraphen und Telephone bestimmt; wenn dasselbe bei Lichtanlagen Verwendung findet, sollen Draht und Rohr gleichzeitig zur Verlegung kommen, weil dann das Stahlband, des geringen Durchmessers halber, zum nachträglichen Einziehen nicht immer verwendbar ist. Das 9 *mm* Rohr kann für Zwillingsleiter bis 1·5 mm^2, sowie für Kupferlitzen bis zu 2·5 mm^2 Querschnitt verwendet werden. Das 11 *mm* Rohr eignet sich für Zwillingsleiter bis zu 4 mm^2 und für Kupferlitzen bis zu 8 mm^2 Querschnitt. Das 17 *mm* Rohr findet bis zu 6 mm^2 Querschnitt Anwendung; in dasselbe lässt sich noch bequem eine Kupferlitze von 16 mm^2 Querschnitt einziehen.

Es soll als allgemeine Regel gelten, dass bei einer Rohrleitung, in welcher Ellbögen in Anwendung kommen, die lichte Weite mindestens zweimal so groß sein muss, als der äußere Durchmesser des einzuziehenden Drahtes.

76. Verlegung in die Mauer. In trockenen Mauerputz werden isolierte Drähte verlegt. Die Isolation der Drähte besteht aus einer wasserdichten Masse aus Paragummi oder Kautschuk oder aus einem von Kupferleiter wohl isolierten Bleimantel. Die Drähte werden in den Verputz in mit gut bindenden Gips ausgestrichene Rillen verlegt. Die Rillen verstreicht man mit Gips. Besondere Vorsicht ist bei Bleikabeln geboten. In den Verbindungskästchen kann der Bleimantel leicht an den Kupferleiter zu liegen kommen und Schluss bilden. Ebenso kann der Bleimantel leicht fehlerhaft sein. Bei Bleikabeln müssen insbesondere die Endverschlüsse sorgfältigst hergestellt werden. Verbindungs- und Kreuzungsstellen unter Verputz bringt man in hölzernen Kästchen oder in Kästchen aus Isolierstoffen unter. Diese dienen zugleich als Kontrollepunkte. Falls letzter Zweck nicht beabsichtigt wird, gießt man die Kästchen vortheilhaft mit Isoliermasse aus. Zur Verhütung des Einschlagens von Nägeln, Haken u. s. w. in die Leitungen legt man Stahlbleche vor dieselben. An dieser Stelle sei auch auf die folgende Verlegung der Leitungen in Hausinstallationen (§ 127) besonders verwiesen.

77. Verlegung in Gasröhren. Diese Verlegungsart ist die beste jedoch die theuerste. Sorgfältig isolierte Drähte werden in Gasröhren ebenso eingezogen und verlegt, wie in Papierröhren. (§ 75, S. 180).

78. Verlegung an Isolierglocken. Diese Verlegungsart wird besonders in sehr feuchten Räumen, in welchen man die Leitungen an Wänden und Decken führt, angewendet. Die Glockenisolatoren werden vermittelst eiserner Stützen in die Mauer eingegipst. Die zumeist blanken Leitungen streicht man häufig, zum Schutze gegen chemische Zersetzungen, mit Ölfarbe oder Mennige an.

III. Unterirdische Leitungen.

79. Eintheilung. Die unterirdischen Leitungen können zweckentsprechend in 3 Systeme eingereiht werden:

1. Tunnelanlagen.
2. Einziehsysteme.
3. Festgelegte Leitungen.

80. Tunnelanlagen finden ihrer Kostspieligkeit halber hauptsächlich nur für Hauptleitungen Verwendung, da dieselben einen geräumigen, unterirdischen Kanal beanspruchen. Solche Leitungen sind in Paris neben Gas- und Wasserleitungsröhren u. s. w. in sehr geräumigen Kanälen untergebracht.

81. Einziehsysteme. Das Einziehen der Leitungen in Röhren verschiedenen Materiales ist in New-York, Philadelphia u. s. w. ausgeführt worden. Da der Boden in der erstgenannten Stadt sehr salzhaltig ist, wurden Kanalkörper aus Asphalt und Sand hergestellt, weil Eisen und Holz von Salzen zerstört werden. Untersuchungsbrunnen (Mannlöcher) dienen zum Einziehen der Leitung, zur Kontrole derselben und zur Herstellung der Anschlüsse. Die Kanäle werden weiters aus gewelltem Bleche, Thon, irdenen Röhren, Eisenröhren (mit Öl gefüllt) u. s. w. zusammengesetzt.

82. Festgelegte Leitungen. Diese unterirdischen Leitungen werden entweder direkt oder in getheerten Holzrinnen, etwa 0·6 *m* tief, in die Erde vergraben, und erhalten, außer der gewöhnlichen Isolation, Blei- (Bleikabel) und Eisenmäntel (Panzerkabel). Die wichtigsten Arbeiten der Kabelfabrikation sind:

1. Bespinnung des Leiters mit Jute- und Baumwollfaser.
2. Vollständige, bei Luftleere erzielte Trocknung der Bespinnung.
3. Tränkung der Bespinnung mit einer besonderen Isoliermasse.
4. Umpressung der erzeugten Isolierschicht mit einem vollkommen wasserdichten Bleimantel auf kaltem Wege.

Als Schutz der Bleihülle gegen chemische Einflüsse verwendet man eine neue Asphaltmasse, gegen mechanische Verletzungen Bandeisen.

Die koncentrisch angeordneten Theile dieser Kabel sind:

1. Der Kupferleiter.
2. Die Isolationsschicht.
3. Der Bleimantel.
4. Die äußere Schutzhülle.

83. Der Kupferleiter ist entweder massiv oder litzenförmig, je nachdem derselbe aus einem einzelnen Drahte oder aus mehreren Drähten besteht, welche letztere für starke Querschnitte Verwendung finden. In der äußeren Drahtlage des Bleikabels befindet sich häufig ein sogenannter Mess- oder Prüfdraht, d. i. ein Kupferdraht von 1 bis 1·5 *mm* Durchmesser, der mit Jute- (mit weitmaschiger Klöppelung) oder Baumwollgarn besponnen ist. Der Messdraht hat den Zweck:

1. Die Spannung an den Vertheilungspunkten des Leitungssystemes zu kontrolieren, indem man den Messdraht einerseits an die zu untersuchende Stelle der Leitung, andererseits an das Galvanometer anschließt.

2. Den Isolationszustand des Kabels, ohne Unterbrechung der Leitungen, zu prüfen. Hauptleitung und Prüfdraht zeigen gleichzeitig an irgend einem Punkte Schluss an, da beide stets gleichzeitig bloßgelegt erscheinen.

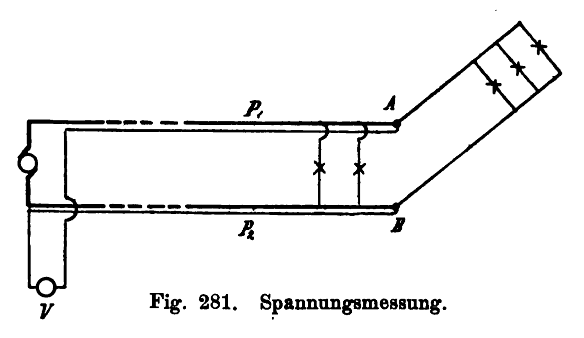


Fig. 281. Spannungsmessung.

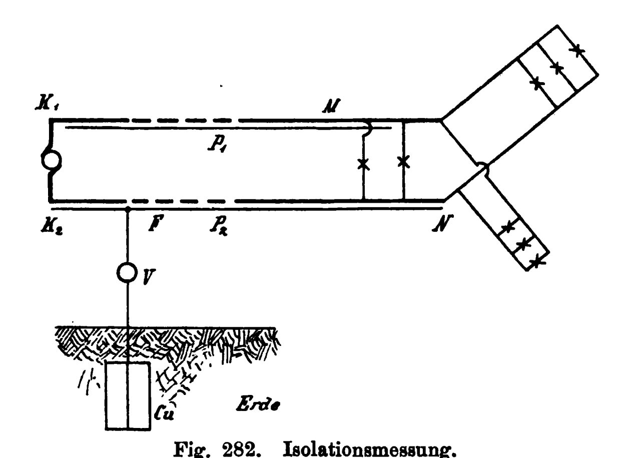


Fig. 282. Isolationsmessung.

84. Prüfdraht-Messungen. Fig. 281 veranschaulicht die Spannungskontrole mittelst des Prüfdrahtes. Soll die Spannung an irgend welchen Punkten des Leitungssystemes A und B, Fig. 281 kontroliert werden, so schließt man die Prüfdrähte P_1 und P_2 an diesen Punkten A und B metallisch an die Leitung. Der Voltmesser V macht dann die Spannung zwischen den Punkten A und B ersichtlich. Fig. 282 zeigt, wie man mit Hilfe der Prüfdrähte, auf ganz einfache Art, die Isolation der einzelnen Theile des Leitungssystemes, ohne Anwendung besonderer Mess-

methoden und ohne Unterbrechung der Leitung (ohne Störung des Betriebes), prüfen kann. Die Kupferseele und der in der äußersten Lage befindliche Prüfdraht zeigen gleichzeitig Schluss, weil sie gleichzeitig fehlerhaft werden. Will man deshalb z. B. das Stück K_2 N der Leitung auf Erdschluss untersuchen, so verbindet man den Prüfdraht P_2 auf dieser Strecke, z. B. am Orte F, durch ein Galvanometer V (z. B. ein Voltmesser) mit der Erdplatte *Cu*. Im stromdurchflossenen Zustande kann man den Schluss in Volt an V ablesen. Die Leitung K, M hat einen vollkommenen Erdschluss, wenn die Spannung an dem Voltmesser V der normalen Betriebsspannung gleich ist. Im stromlosen Zustande kann man zwischen den Punkten F und *Cu* eine Widerstandsmessung vornehmen und dadurch den Isolationswiderstand der Leitung K_2 N gegen die Erde messen. Der Isolationswiderstand der Kabel beträgt etwa 1000 Millionen Ohm für 1 *km*, derjenige großer Centralstationen sinkt bis auf 1 Ohm herab.

85. Mehrfache Kabel.

Anstatt zwei oder mehrere Kabel mit je einer Kupferseele nebeneinander zu legen, verwendat man sehr häufig Kabel mit zwei oder mehreren von einander isolierten Kupferleitern. Diese Kabel werden koncentrische Kabel genannt, weil die einzelnen Leiter gleichmäßig um die Mittellinie des Kabels vertheilt sind. Die mehrfachen Kabel werden mit und ohne Prüfdrähten angefertigt und stellen sich billiger, als mehrere einzelne. Doppelkabel sind insbesondere für Wechselströme zweckentsprechend, weil durch die koncentrische Anordnung der Kupferleiter die Induktionswirkung des Wechselstromes aufgehoben wird. Bei den dreifachen Kabeln (Dreileiter-Kabel) sind die Kupferquerschnitte der einzelnen Leiter entweder gleich oder sie verhalten sich wie $1:1:{}^1/_2$. Sie bestehen in der Regel aus drei einzelnen Litzen.

86. Eintheilung der Kabel.

1. Hauptkabel.
2. Vertheilungskabel.
3. Anschlusskabel.

Die Hauptkabel leiten den Strom von den Schienen des Schaltbrettes bis zu den Vertheilungspunkten des Leitungsnetzes. Die Vertheilungskabel dienen zur Fortführung des Stromes von den Vertheilungspunkten aus. Die Anschlusskabel besorgen den Anschluss kleinerer Lampenpartien an die Vertheilungskabel.

87. Kabelverbindungen, Abzweigungen, Vertheilungen und Anschlüsse. Zur gegenseitigen Verbindung von Kabelstücken, zu Ab-

zweigungen von starken auf schwache Kabel, zu Vertheilungen und zu Anschlüssen verwendet man folgende sogenannte Garniturtheile:

1. Gerade Muffen (— Muffen).
2. Abzweigungsmuffen (⊥ „).
3. Kreuzmuffen (+ „).
4. Abzweigungskasten.
5. Vertheilungskasten.
6. Endverschlüsse.

An den Enden der Kabel erhält die Feuchtigkeit zu den Isolierschichten freien Zutritt. Zur Verhinderung der dadurch möglichen Isolationsfehler sind die Kabel vor und während des Verlegens an den Enden wohl zu isolieren, d. h. mit Endverschlüssen zu versehen.

IV. Unterseeische (submarine) Leitungen.

88. Unterseeische Kabel. Für unterseeische Leitungen verwendet man Eisenpanzer-Kabel, welche auf dem Eisenpanzer doppelt mit Gummi isoliert sind und eine doppelte Drahtwickelung (verzinnter Eisendraht) enthalten, die man nochmals mit einer stark getheerten oder asphaltierten, gesandelten Juteschicht umgibt. Die submarinen Kabel werden als Lichtleitungen hauptsächlich nur zu Leuchtthurm-Beleuchtungen verwendet.

89. Die Legung der Bleikabel. Die folgende Beschreibung bezieht sich auf die Patent-Bleikabel der Siemens & Halske A.-G.[1]). Der Kabellegung muss eine allgemeine Orientierung über die den Kabeln zu gebende Lage vorangehen. Dabei ist zu berücksichtigen, ob auf dem mit den Kabeln einzuschlagenden Wege mechanische Verletzungen oder schädliche chemische Einflüsse für die Kabel zu befürchten sind. Von diesen Erwägungen hängt nicht nur das zu bestellende Kabelquantum, sondern auch die Wahl der Kabelgattung ab. Für den Fall, dass die Kabel mechanischen Verletzungen durch Ausgrabungen oder anderen Zufälligkeiten unterliegen können, wie dies auf öffentlichen Straßen und Plätzen oder in befahrenen Flussläufen und Kanälen, oder an Orten, wo Bauten vorgenommen werden können, in Aussicht zu nehmen ist, finden bandarmierte, oder mit Drahtarmatur versehene Kabel Verwendung; in solchen Fällen dagegen, wo nicht derartige Verletzungen, wohl aber schädliche Einwirkungen auf die Kabel durch die chemische Beschaffenheit des Bodens oder des Wassers (z. B. in Gruben) oder

[1]) Nach einer Drucksorte dieser Firma.

der mit den Kabeln in Berührung kommenden Gase (z. B. in Fabriksräumen) möglich sind, muss man asphaltierte Kabel zur Anwendung bringen. Blanke Patent-Bleikabel sollte man nur in Gebäuden verlegen. Obige Firma erhielten wohl die Mittheilung, dass Bleirohre von Ratten abgenagt wurden; sie haben keinen Grund, diese Mittheilung anzuzweifeln, soweit sie sich auf Wasserrohre bezieht, weil es wohl denkbar ist, dass die Thiere durch Annagen der Rohre das Wasser zu erreichen suchen. Die Zeitung für Gas- und Wasserfach sagt in ihrer Nr. 10 von 12. Mai 1887 es sei festgestellt, dass die Ratten, das Schwitzwasser an den Bleirohren ablecken und hierbei dieselben auch annagen. Die genannte Firma heben hervor, dass ihnen nicht ein einziger Fall bekannt ist, in denen blanke Bleikabel von Ratten oder Mäusen angenagt wurden, obwohl in den zur Aufbewahrung von größeren Mengen blanker Bleikabel dienenden Räumen zeitweise viel Ratten zu finden sind. Sollte man indessen diese Befürchtung hegen, so möge man die Bleikabel asphaltiert anwenden. Getheerte oder asphaltierte Jute bleiben stets von den Nagethieren verschont. Papier oder Pergamentetiquetten, welche mit ungetheerten Bindfaden an den Kabeln befestigt waren, wurden mitsammt dem Faden abgefressen, bei Verwendung von getheertem Jutegarn zum Befestigen der Etiquetten verschwanden letztere, der Faden selbst blieb aber stets übrig.

Der Verlegung der Kabel muss die Vorzeichnung des einzuschlagenden Weges vorangehen. Hierbei ist dahin zu streben, dem Kabel eine möglichst gesicherte Lage zu geben und kurze Biegungen oder Knicke zu vermeiden. Soweit es möglich ist, sind Überkreuzungen mit Gas- und Wasserrohren, sowie Abzugskanälen und ähnlichen Anlagen, welche leicht zu Ausgrabungen Anlass geben und hierdurch eine Gefahr für die Kabel herbeiführen können, zu umgehen. Wo dies nicht möglich ist, gilt es als Regel, die Kabel unter solchen Hindernissen hinwegzuführen, um die daraus für die Kabel entspringende Gefahr auf das denkbar geringste Maß zu bringen. Da die Unterführung der Kabel bezüglich der Rohrleitungen u. s. w. schwieriger und kostspieliger ist, als die Verlegung in einem offenen Graben, erscheint auch aus diesem Grunde die thunlichste Umgehung von dergleichen Hindernissen geboten. Abzugscanälen, Dungstätten, und anderen Örtlichkeiten, wo infolge von Ammoniakentwickelung, die Bildung von Salpetersäure, oder solche, wo, wie im humusreichen Boden, das Auftreten von Säuren zu befürchten ist, muss man nach Möglichkeit aus dem Wege gehen. Die Tiefe des Grabens, welche bei Guttapercha- und Gummikabeln von Wichtigkeit ist, fällt bei den Patentbleikabeln, welche selbst große Temperaturschwankungen nicht schädlich beeinflussen,

ten weniger ins Gewicht. Im allgemeinen genügt eine Tiefe von 0·6 bis ... Meter und hierin liegt ein wesentlicher Vorzug dieser Patent-Bleikabel gegenüber den andern Kabeln, die mindestens einen Meter tief zur Verlegung kommen. Es empfiehlt sich den Graben an den Stellen, wo Muffen verlegt wurden, tiefer zu machen, damit letztere nicht zu nahe der Oberfläche liegen. Die Breite des Grabens richtet sich nach der Zahl und Stärke der zu verlegenden Kabel; im allgemeinen soll die Grabensohle so breit sein, dass sämmtliche Kabel auf derselben ausreichend Platz finden. Indessen können örtliche Verhältnisse (wie bei den großen Gleichstrom-Centralen Berlin und Wien) die Grabenbreite beschränken, wodurch es geboten wird, die Kabel übereinander zu legen. Obschon vom elektrischen Standpunkte aus gegen diese Anordnung kein Bedenken vorliegt, sollte sie doch nur im Nothfalle erfolgen, weil die Zugänglichkeit zu den untenliegenden Kabeln erschwert wird. Bei Anwendung von den zuerst zu berücksichtigenden einfachen Patent-Bleikabeln zu Beleuchtungsanlagen kommen mindestens zwei Kabel (+ und −) zur Verlegung. Es muss daher bei der Verlegung eine bestimmte Regel festgehalten werden, um an jeder beliebigen Stelle leicht bestimmen zu können, mit welchem Kabel man es zu thun hat. Bei den Berliner und Wiener Centralen gilt als Regel, das den positiven Strom leitende Kabel (kurz das positive Kabel), vom Ausgangspunkt (Maschinenhause) aus gesehen, stets rechts, das den negativen Strom leitende (kurz negative Kabel) stets links zu legen. Bei mehreren, in demselben Graben zu verlegenden Stromleitungen (Kabelpaaren) ist es unumgänglich nöthig, dieselben zu zeichnen.

Bei Kabeln von verschiedenen Querschnitten der Kupferleiter dienen die Querschnitte zweckmäßig zur Bezeichnung derselben; Kabel mit gleichen Querschnitten werden mit Zahlen versehen. Bei den Berliner und Wiener Centralen hat man zur Bezeichnung der Leitungen sogen. Polaritätszeichen angewandt, und zwar, um dieselben von vornherein kenntlich zu machen, für die positiven Kabel Bleistreifen, für die negativen Kabel Bügel aus verzinktem Bandeisen. Auf den Polaritätszeichen, welche sofort nach der Verlegung eines Kabels in kurzen Entfernungen von einander, etwa von 2 Meter zu 2 Meter, angebracht werden, sind außer dem Plus- und Minuszeichen die betreffenden Kupferquerschnitte angegeben. Vervollständigt werden diese Bezeichnungen durch die Angabe des Kastens, zu welchem die Kabel führen.

Zum Ausgangspunkt der Verlegung dient, sobald es sich um eine Neuanlage handelt, zweckmäßig das Maschinenhaus. Bei der Verlegung soll man für die thunlichst rasche Verbindung der verlegten Kabel sorgen, damit die elektrische Messung des Netzes von der Centralstation ermög-

licht, vereinfacht und selbst sicherer wird, als wenn die Instrumente, zur Ausführung der Messungen, auf der Straße Aufstellung finden müssen. Zu beachten ist, dass die Kabel nicht zu straff und nicht zu schlaff (in Bögen) im Graben liegen, sowie dass sie stets ihre relative Lage beibehalten, d. h. sich nicht kreuzen. Die Kabel kommen entweder auf Trommeln oder in Ringen zur Anlieferung. Im ersteren Falle wird die Trommel mit einer eisernen Welle so auf Böcke gelegt, dass sich das Kabel von oben abrollt, im anderen Falle muss man sich eine Abwickelvorrichtung schaffen, die in einfachster Form aus einem frei schwebenden, in horizontaler Lage um einen Dorn sich drehenden Bohlenkreuze von passender Größe besteht. Auf dieses Kreuz wird der Kabelring gelegt und von außen nach innen abgewickelt. Eine sehr zweckmäßige Vorrichtung ist die von obiger Firma zum Verlegen von Kabelringen verwendete, mit Rädern und Deichsel versehene Verlegungsscheibe, die auch zum Transport der Kabelringe (auf kürzeren Entfernungen, z. B. vom Aufbewahrungsorte zur Verlegungsstelle) benützt wird. Beim Verlegen der Kabel ist die Bildung von Schleifen und Knicken sorgfältig zu vermeiden, wozu die richtige Aufstellung der Arbeiter am Graben viel beiträgt. Dieselben dürfen weder zu nahe, noch zu weit von einander Aufstellung finden, weil im ersteren Falle die Arbeit unnöthig vertheuert, im anderen zu sehr erschwert, die Schlingenbildung begünstigt, und unter Umständen das Kabel durch Schleifen am Boden beschädigt wird. Letzteres gilt namentlich für blanke Bleikabel. An der Trommel oder am Kreuz, beziehungsweise der Verlegungsscheibe steht ein Arbeiter zur Überwachung der Abwickelung dessen Aufgabe es ist, ein Voreilen der Abwickelvorrichtung, also ein zu rasches Abgleiten und somit eine Verwirrung des Kabels zu verhindern. Aus verschiedenen Gründen, namentlich auch deshalb, um die Kabel möglichst bald äußeren Einflüssen zu entziehen, empfiehlt es sich, mit der Verlegung abtheilungsweise vorzugehen, d. h. in einem, durch die größte Kabellänge bestimmten Grabenabschnitt erst alle Kabel zu verlegen, und den Graben zu schließen, ehe mit dem folgenden Abschnitte begonnen wird. Die Patent-Bleikabel kommen in gewissen, von ihrem Kupferquerschnitte abhängigen, Maximallängen zur Anfertigung, beziehungsweise Ablieferung. Wenn eine solche Länge nicht ausreicht, müssen zwei oder mehrere Längen mit einander verbunden werden, was auf einfache und sichere Art mittelst Muffen sog. Verbindungs- oder geraden Muffen (erstere Benennung ist die gebräuchliche) erfolgen kann.

Die Verbindungs-Muffen, Fig. 283a bestehen aus einem zweitheiligen, gusseisernen Gehäuse *A*, der eigentlichen Muffe, und aus der Klemme *K*. Ferner gehören dazu die Isoliermasse (Füllmasse genannt) zum Aus-

gießen des Gehäuses und — bei Kabeln mit Prüfdrähten — 2 Prüfdrahtklemmen K' und ein Stück isolierter Draht (Gummiader) D. Die Muffe selbst besteht aus dem Untertheil und dem, mit einer Eingussöffnung versehenen Obertheil. An diese Theile sind Laschen L angegossen, welche zur Aufnahme der Mutterschrauben dienen, mit denen die beiden Muffentheile fest verbunden werden. Das Untertheil hat an seiner oberen Kante eine Rille oder Nuth R, in welche eine am Obertheile angegossene Wulst passt. Indem in die Nuth Jutegarn ein-

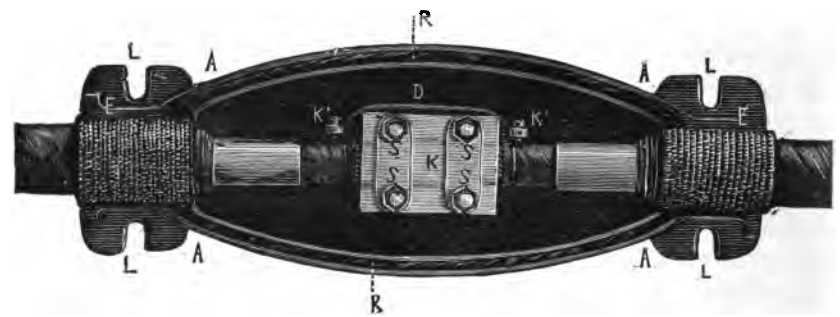


Fig. 283a. Verbindungsmuffe.

gelegt wird, dient diese Einrichtung zum Abdichten der zusammengefügten Muffentheile. Die Eingussöffnung des Obertheils verschließt ein Schraubenstöpsel oder in neuester Zeit ein mit zwei Schrauben befestigter Gussdeckel, Fig 283b. An ihren Enden E erhält die Muffe kreisrunde, dem äußeren Durchmesser des einzulegenden Kabels an-



Fig. 283 b. Verbindungsmuffe.

gemessene Öffnungen. Die Klemmen bestehen aus zwei, durch Schrauben S zusammengehaltene, mit dem betreffenden Kupferleiter entsprechenden Längsbohrungen versehenen Theilen aus verzinntem Messingguss. Die zur Verwendung kommenden Muffen richten sich in ihrer Größe nach den Kupferleitern der Patent-Bleikabel und sind zur Zeit 8 Modelle gebräuchlich. Zu bemerken ist noch, dass eine Abart dieser Verbindungsmuffen durch die, zur Verbindung von Kabeln mit verschiedenen Kupferquerschnitten bestimmten Reduktionsmuffen gebildet wird, welche

sich von den Verbindungsmuffen nur dadurch unterscheiden, dass Klemme und Muffe an den Enden verschieden gebohrt sind.

Die Verbindung zweier Kabelenden erfolgt in nachstehend beschriebener Weise: In einer Entfernung vom Ende des Kabels, die um einige Centimeter geringer ist als die halbe lichte Muffenlänge, wird das Kabel mit verzinktem Eisendraht fest abgebunden, sowie der Bleimantel durch Entfernung der Asphaltierung und der Bandeisen- oder Drahtarmatur freigelegt. Dann schneidet man in einer Entfernung, die um einige Millimeter größer ist als die halbe Klemmenlänge, durch einen rings um das Kabel gehenden, senkrecht zur Kabelachse ausgeführten Schnitt, das Bleirohr ein; bei Anwesenheit eines Prüfdrahtes darf der Schnitt nicht vollständig durchgehen. Von diesem Schnitt wird das Bleirohr bis zum Ende, je nachdem ein Prüfdraht vorhanden ist oder nicht, entweder stark eingeritzt oder völlig durchgeschnitten, mit einer Zange abgehoben, die hierdurch freigelegte Isolierschicht abgewickelt und dieselbe, um die, den Prüfdraht umgebende Isolierhülle nicht zu beschädigen, mit einer Schere dicht an der Schnittstelle abgeschnitten. Weiters hebt man den Prüfdraht aus seiner Lage heraus, biegt denselben zurück und putzt den freien Kupferleiter blank. In beschriebener Weise wird dann ein, bei allen Kabelquerschnitten gleiches und zwar 30 *mm* langes Stück Isolierhülle vom Blei befreit und dieselbe vor dem Aufribbeln, durch Umbinden mit einem trockenen Faden, gesichert. Um der Gefahr zu begegnen, welche der Isolation der in den Muffen eingeführten Kabel dadurch erwächst, dass die Feuchtigkeit der äußeren Umhüllung bis zur freigelegten Isolierhülle in der Muffe gelangen könnte, bestreicht man die Stelle, an welcher die Bandarmatur, beziehungsweise die Asphaltierung, in der Muffe endet, so mit halbflüssiger Füllmasse, dass sich ein allmählicher Übergang zwischen der äußeren Umhüllung und dem Bleimantel bildet; hiernach bewickelt man die Stelle sorgfältig und fest mit Streifen aus Naturgummi, so dass eine Kappe auf dem Ende der äußeren Umhüllung gebildet wird. Es ist zu beachten, dass mindestens $^3/_4$ der Bleimantelstufe freigelassen werden. Behufs der innigen Verbindung zwischen Blei und Füllmasse entfernt man den, von der Fabrikation herrührenden Asphaltüberzug auf dem Bleimantel sorgfältig. Sind beide zu verbindende Kabelenden in dieser Weise hergerichtet, und die Kabel an den Stellen E, wo sie in die Muffen eintreten, so dick mit getheerter Jute umwickelt, dass hier eine vollkommene Abdichtung zwischen Kabel und Muffe stattfindet, so legt man die Kabelenden in das Untertheil der Muffen derartig ein, dass die Kupferleiter stumpf aneinander stoßen. Nun wird die Klemme K um die Kupferenden gelegt, und die Verbindung (der

Kontakt) derselben durch möglichst festes Anziehen der Klemmschrauben *S* herbeigeführt. Sind Prüfdrähte vorhanden, so werden ihre Enden bis auf etwa 30 *mm* abgekniffen, die Hälfte der bleibenden Stücke von der Isolierhülle befreit, die Kupferdrähte gesäubert, und unter Anwendung der erwähnten Prüfdrahtklemmen *K'*, durch einen isolierten, entsprechend langen Draht *D* (zweckmäßig Gummiader) untereinander verbunden. Bei richtigen Abmessungen ragt von jedem Kabel, wie unbedingt erforderlich, ein Stück der Asphaltierung, beziehungsweise Bandeisenarmatur, in die Muffe hinein. Nachdem die Dichtungsjute in der Rille des unteren Muffentheils liegt, wird das Obertheil fest aufgeschraubt, und die Muffe (durch den Einguss), unter Erwärmen derselben, mit geschmolzener Isoliermasse (Füllmasse) ausgegossen. Das Eingießen muss nach und nach geschehen, um die Bildung von Hohlräumen in der Masse zu verhüten, weshalb auch ein Anwärmen der Muffe von Vortheil ist. Hat man die Muffe, bis dicht unter den Einguss, mit Füllmasse ausgegossen, dann beendet das Einschrauben des Stöpsels in die Eingussöffnung die Operation. Bei dieser Arbeit, sowie bei allen mit den Patent-Bleikabeln vorzunehmenden Arbeiten, bei denen die Isolierschicht freigelegt wird, wie dies bei dem Anbringen von Endverschlüssen, der Herstellung der Abzweigungen u. s. w. der Fall ist, muss die größte Sauberkeit herrschen, um die Isolierschicht vor Staub und Feuchtigkeit zu schützen. Hieraus ergibt sich, dass derartige Arbeiten nur mit sauberen, trockenen Händen und, wenn dieselben im Freien zur Ausführung gelangen müssen, nur unter einem Zelt (Lötherzelt) vorgenommen werden dürfen. Zur Verbindung der Kabelenden sei noch bemerkt, dass schon beim Verlegen der Kabel auf die richtige gegenseitige Lage der Enden zu achten ist. Es erweist sich als rathsam, die Kabel an den Stellen, wo Verbindungen stattfinden müssen, in einem kleinen Bogen zu verlegen, damit, bei etwa erforderlicher Neuanfertigung der Verbindung, die Kabel frisch beschneidbar sind, ohne dass sie hierdurch zu kurz werden.

Arbeitet man nicht genau nach obigen Vorschriften, so kann leicht ein unnöthiger Verschleiß und durch diesen, bei dem oft hohen Werte der Kabel, ein mehr oder weniger beträchtlicher Schaden erwachsen.

Nur in den seltensten Fällen durchlauft der volle, in die Kabel von den Maschinen eintretende elektrische Strom, die ganze Kabellinie ohne dabei, sei es zur Speisung einzelner Lampen oder zur Speisung von Lampengruppen, theilweise Benutzung zu finden. Will man aber vom Hauptstrom einen größeren oder kleineren Stromtheil abzweigen, so wird die Verbindung einer Zweigleitung von entsprechenden Kupferquerschnitt mit dem stromführenden Kabel erforderlich. Zur Herstellung solcher Verbindungen dienen die, in ähnlicher Weise wie die Verbindungs-

Muffen zusammengesetzten ⊤-Muffen, Fig. 284. Die Gehäuse und Klemmen beider Gattungen unterscheiden sich wesentlich in ihrer Form, indem die ⊤-Muffe gewissermaßen aus einer geraden und einer rechtwinklig daran gesetzten halben geraden Muffe besteht, so dass ein drittes Kabel in dieselbe eingeführt werden kann. Die Herrichtung und Verwendungsweise der ⊤-Muffen ist ganz ähnlich wie bei den Verbindungs-Muffen, da bei den Abzweigungen nur die Anbringung des dritten Kabelendes hinzutritt. Hervorgehoben muss indessen werden, dass an jeder beliebigen Stelle eines Kabels eine Abzweigung, ohne die Durchschneidung von dessen Kupferleiter, möglich erscheint. Es genügt demnach den Punkt an dem stromzuführenden Kabel zu

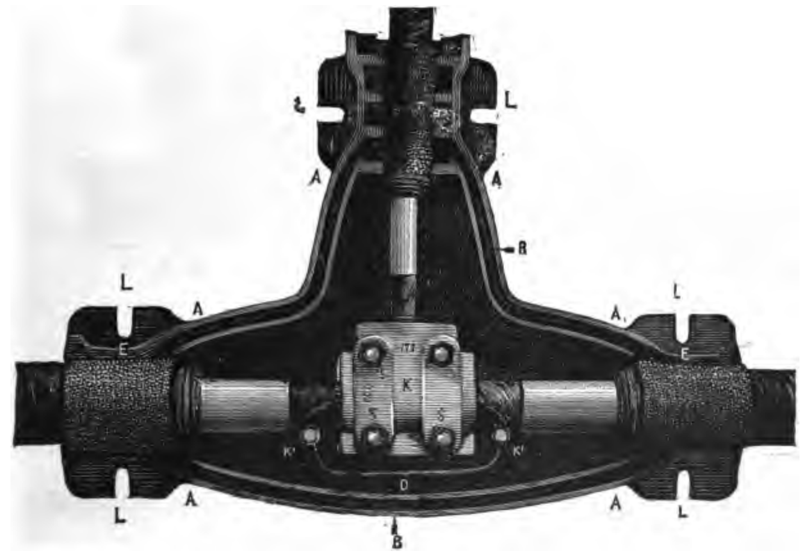


Fig. 284. T-Muffe.

bestimmen, wo die Abzweigung stattfinden soll und von diesem Punkte aus nach rechts und links so zu verfahren, wie dies bei der Herstellung der Verbindungen schon beschrieben worden ist, mit dem Unterschiede, dass man den Prüfdraht in der Mitte durchschneidet und seine Enden nach links und rechts biegt. Die Herrichtung des Abzweigkabels, behufs Einlegung in die ⊤-Muffe, unterscheidet sich in Nichts von der eines Kabels zur Herstellung einer Verbindung mit gerader Muffe. Unter Umständen werden die ⊤-Muffen gleichzeitig als Verbindungs- oder gerade Muffen bezw. als Reduktionsmuffen verwendet, und zwar geschieht dies, wenn Abzweigungen an solchen Stellen auszuführen sind, wo Kabel von gleichen, bezw. verschiedenen Kupfer-

querschnitten zusammen stoßen. Für jede Abzweigungsstelle sind bei einfachen Kabeln zwei ⊤-Muffen erforderlich, die eine für das positive, die andere für das negative Kabel. Die Wahl der Muffe richtet sich stets nach dem Kupferquerschnitt des stromzuführenden Kabels, es müssen indessen zur richtigen Anfertigung auch die Querschnitte der abzweigenden Kabel bekannt sein, damit die Bohrungen der Muffe danach gemacht werden. Wie bei den geraden Muffen sind auch bei den ⊤-Muffen zur Zeit 10 Modelle gebräuchlich.

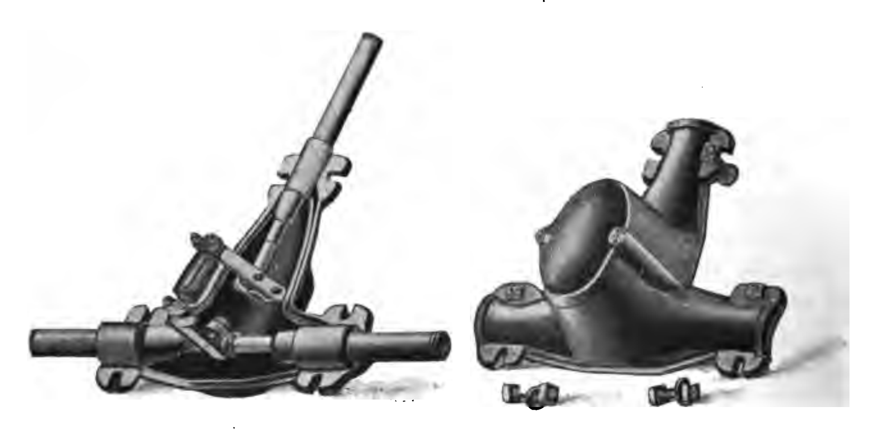


Fig. 285. Bleisicherungs-Abzweigmuffe für Einfachkabel.



Fig. 286. Parallelschalte-Verbindungsmuffe.

Eine weitere Muffengattung ist die ┼-Muffe, welche in letzterer Zeit öfter Verwendung fand, um an einem Punkte vier Kabel zu vereinigen.

Fig. 285 veranschaulicht eine Bleisicherungs-Abzweigmuffe für Einfachkabel und 6 bis 1000 mm^2 Kupferquerschnitte.

Eine Parallelschalte-Verbindungsmuffe für Einfachkabel zeigt Fig. 286 zum Parallelschalten zweier Einfachkabel. Mit dieser Muffe können Kupferquerschnitte von 25 bis 1000 mm^2 verbunden werde.

Fig. 287 gibt einen Kabelkasten der S i e m e n s & H a l s k e A.-G. wieder. Bestandtheile:

1. Der eigentliche Kasten sammt Deckel; dieser enthält:

a) das Sammelstück oder den Vertheiler, durch welchen alle in den Kasten einmündenden Kabel gleicher Polarität mit einander verbunden werden;

b) die Kastenstutzen mit Endverschlüssen; sie dienen zur Einführung der Kabel in den Kasten und sind entweder Einzelstutzen oder sie sind geeignet zur Aufnahme von drei und fünf Kabeln (Dreileiterstutzen, beziehungsweise Fünfleiterstutzen);

c) Bleisicherungen, welche zwischen den Endverschlüssen und dem Sammelstück eingeschaltet werden;

d) Blindflanschen zum Verschluss von allenfalls durch Kabel nicht besetzten Kabeleinführungsöffnungen.

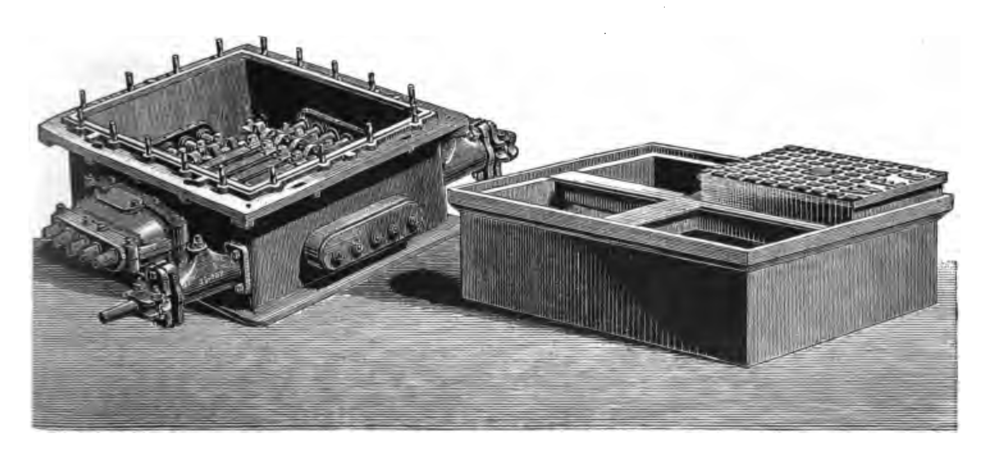


Fig. 287. Kabelkasten.

2. Der Brunnenrahmen mit Abdeckung. Dieser gusseiserne Rahmen bildet einen Schacht vom Straßenniveau bis zum Kasten, so dass letzterer leicht zugänglich ist. Die Abdeckung im Straßenniveau erfolgt entweder durch eine Gussplatte, oder bei größeren Kasten durch vier Viertelplatten, wovon eine aus Gusseisen ist, die anderen drei aber aus Stein sind. Im letztern Falle wird das Einsetzen eines schmiedeisernen Unterlagekreuzes in den Brunnenrahmen erforderlich.

Eine Kastenstutzen für Einfachkabel ohne Endverschlüsse stellt Fig. 288 dar.

Die Enden der Patent-Bleikabel, soweit dieselben nicht in Muffen oder in die noch zu betrachtenden Abzweig- oder Vertheilungskasten eingeführt wurden, sind mit besonderen Schutzvorrichtungen, Endverschlüsse genannt, zu versehen. Diese Endverschlüsse sind für alle zu

Tage tretenden Kabelenden anzuwenden; dagegen werden diejenigen Kabelenden bei größeren, allmählich sich erweiternden Beleuchtungsanlagen, welche zunächst unbenützt in der Erde liegen bleiben sollen, provisorisch in gerade Muffen eingeführt, die nur an einem Ende gebohrt sind, wobei man nach obiger Anleitung verfährt; oder man verschließt die Kabelenden durch Bleikappen, d. h. man schiebt auf den freigelegten Bleimantel, des entsprechend hergerichteten und mit Gummi umwickelten Kabelendes, ein nicht zu enges Stück Bleirohr, welches das Kabelende um mehrere Centimeter überragen muss. Dieses Bleirohr wird auf dem Bleimantel mittelst Eisendraht an zwei Stellen fest verschnürt, mit Füllmasse ausgegossen und am oberen Ende zuerst plattgedrückt, sodann verlöthet. Letzteres ist das Verfahren, welches zur Sicherung der Enden, der aus der Fabrik ausgehenden Kabel, Verwendung findet. Bei der Betrachtung der Muffen wurden zunächst nur die einfachen Patent-Bleikabel, sowie bei den folgenden Bemerkungen über das Anbringen



Fig. 288. Kastenstutzen.

der Endverschlüsse, berücksichtigt, indem die auf Patent-Blei-Doppelkabel bezüglichen Bemerkungen später folgen.

Unter Hinweis auf die, im Abschnitt über Bleikabelfabrikation gegebene Eintheilung der Endverschlüsse ist zunächst das Anbringen der letzteren an Kabel mit massiven Leitern zu beschreiben. Hier soll ein bandarmiertes Kabel besprochen werden, weil es sich hieraus von selbst ergibt, wie man bei den asphaltierten und blanken Kabeln verfahren muss. In einer Entfernung vom Ende des Kabels, welche gleich ist der Summe der Länge, des aus dem Endverschlusse hervorragenden Kupferleiters *D—D'*, Fig. 172, und der Gesammtlänge *AD* des Endverschlusses, wird das Kabel mit verzinktem Eisendraht abgebunden und die, das Bandeisen bedeckende, äußere Jutelage, nachdem dieselbe dicht über der Bindestelle durchgeschnitten wurde, entfernt. Hierauf hebt man die beiden Bandeisenlagen nacheinander ab, wozu dieselben dicht über der Bindestelle eingefeilt werden müssen. Die hierdurch freigelegte, untere Jutelage wird nun in einer, der Länge des erweiterten

Ansatzes am Endverschlusse *AB* gleichen Entfernung von der mehr erwähnten Bindestelle mit einem starken Faden abgebunden, vom Ende aus abgewickelt und mit einer Schere über der Bindestelle *B* abgeschnitten. Nachdem das freigelegte Bleirohr mit einem kantigen, nicht scharfen Instrumente (z. B. einem Messerrücken) blank geschabt worden ist, führt man einen kreisförmigen, zur Kabelachse senkrechten, Blei- und Isolationsgespinst bis zum Kupfer durchsetzenden, aber Letzteres nicht beschädigenden Schnitt bei *C*, d. i. in einer Entfernung von *B*, welche der Länge des Rohres *b* im Endverschlusse entspricht, aus.

Weiters entfernt man das Bleirohrstück und das Isolationsgespinst von dem Ende *CD'*, putzt den freien Kupferleiter blank, ritzt bei *E* (*CE* ist ungefähr $^1/_3$ der Länge *BC*) das Bleirohr senkrecht zu seiner Achse ringsherum stark ein und trennt und zieht das Rohrstück *CE* durch Hin- und Herbiegen völlig ab.

Nachdem das bloßgelegte Stück Isolationsgespinst mit einem reinen, trockenen Faden fest bewickelt worden ist, wird ein imprägniertes Papierrohr auf das Kabelende soweit aufgeschoben, bis dasselbe in gehöriger Länge auf der äußeren Umhüllung des Kabels aufsitzt.

Sollte die lichte Weite des Papierrohres etwas größer sein als der äußere Durchmesser des Kabels, so wird derselbe durch Umwickeln mit Juteband verstärkt bis die Papierhülse stramm passt.

Hierauf wird das Papierrohr in vertikaler Lage mit heißer Füllmasse bis an den Rand ausgegossen und der Glas- beziehungsweise Hartgummistöpsel eingesetzt.

Die überschüssige Masse, welche dabei zwischen Stöpsel und Rohr herausquillt, wird mit einem mit Petroleum befeuchteten Lappen abgewischt.

Beim Anbringen der Endverschlüsse an Patent-Bleikabel mit litzenförmigen Leitern unter 100 mm^2 Querschnitt und ohne Prüfdraht wird, mit Bezug auf Fig. 174 und 175, wie folgt, verfahren: 130 *mm* vom Ende bindet man das Kabel bei *A* mit Draht ab und befreit dasselbe bis zu dieser Stelle von der Jute und dem Bandeisen. Dann wird das bloßgelegte, blankgeschabte Bleirohr, sowie das Isolationsgespinst, etwa 65 *mm* vom Ende *E* senkrecht zur Kabelachse bei *B* durchschnitten, ohne hierbei den Kupferleiter *BE* zu beschädigen. Nach Entfernung des Bleirohrstückes und des darunter liegenden Isolationsgespinstes wird das Stück *BE* des Kupferleiters blank geputzt, dann 95 *mm* vom Kabelende das Bleirohr bei *C* ringsherum eingeritzt und endlich das Bleirohrstück *CB* in bekannter Weise entfernt. Hierauf wird die Isolationshülle *J* mit einem Faden umwickelt, der Endverschluss *V* so weit über den Kupferleiter geschoben, dass sein hinterer Rand das Isolationsgespinst bei *B* berührt, und der Kontakt zwischen dem Kupferleiter und dem End-

verschluss durch festes Anziehen der Schrauben *SS* möglichst gut hergestellt. Über das so hergerichtete Kabelende schiebt man nun das Papierrohr *G*, so dass es auf der äußeren Umhüllung des Kabels gut aufsitzt. Etwaige Durchmesserdifferenzen werden wir oben durch Umwickelung mit Juteband ausgeglichen.

Die Endverschlüsse für Patent-Bleikabel mit litzenförmigem Leiter über 100 mm^2 Querschnitt und ohne Prüfdraht werden in ganz gleicher Weise angebracht, nur sind die angegebenen Maße, je nach dem Querschnitt, etwas verschieden. Die Anbringung der Endverschlüsse am Patent-Bleikabel mit litzenförmigem Leiter unter 100 mm^2 Querschnitt und mit Prüfdraht weicht von der bei solchen Kabeln ohne Prüfdraht insofern ab, als dabei auf den Letzteren Rücksicht genommen werden muss. Demzufolge wird das Kabel in 205 *mm* Entfernung vom Ende abgebunden und, wie bekannt, auf diese Entfernung der Bleimantel freigelegt. Nun legt man den Kupferleiter auf 140 *mm* vom Kabelende bloß, indem man das Bleirohr stark einritzt und mit einer Zange abhebt, darauf die Isolierhülle abwickelt und mit einer Schere abschneidet. Hierbei ist vorsichtig zu verfahren, damit die Isolierhülle des Prüfdrahtes nicht leide. Dann hebt man den Prüfdraht aus seiner Lage und biegt denselben soweit zurück, dass man den Kupferleiter 75 *mm* vom Ende, senkrecht zu seiner Achse durchschneiden kann. Nachdem der Kupferleiter senkrecht zu seiner Achse durchschnitten ist, bringt man den Prüfdraht in seine ursprüngliche Lage zurück, legt dessen Kupferleiter am Ende auf 15 *mm* Länge frei und biegt das über den Kupferleiter des Kabels hervorragende Ende des Prüfdrahtes so, dass sein freigelegter Kupferleiter genau mit der Kabelachse zusammenfällt, wie dies Fig. 257 veranschaulicht. Hierauf schiebt man den Messingverschluss, nachdem man die Prüfdrahtschraube *S'* und die Kopfschraube *K* entfernt hat, dergestallt auf, dass sein Rand *H'* die Isolierschicht *I* berührt. Dann wird der Kontakt zwischen dem Kupferleiter und den Wandungen des Messingstückes durch möglichst scharfes Anziehen der Schrauben *S* hergestellt. Hierauf schiebt man wie früher das Papierrohr auf die äußere Umhüllung des Kabels in die vorgeschriebene Lage und gießt in vertikaler Stellung den Endverschluss aus.

Nun wird der Hartgummistöpsel bei herausgeschraubter Prüfdrahtklemme und Kontact- oder Kopfschraube eingesetzt, und die herausquellende Füllmasse gut abgewischt. Schließlich werden, nachdem man sich überzeugte, dass der Prüfdraht seine richtige Lage eingenommen hat, die Prüfdrahtschraube *S'* und die Kopfschraube *K* wieder eingesetzt und *S'* behufs Erzielung eines guten Kontaktes mit dem Prüfdraht fest eingeschraubt.

Für das Anbringen der Endverschlüsse an Kabeln mit litzenförmigen Leitern von über 100 mm^2 Querschnitt und mit Prüfdrähten lässt sich eine Anleitung mit allgemein giltigen Zahlen nicht geben, weil sich die Abmessungen mit den Querschnitten der Kupferleiter sehr ändern. Sonst gelten für die Montage im allgemeinen dieselben Bestimmungen wie für die oben behandelten Endverschlüsse der Kabel unter 100 mm^2 Querschnitt.

Die im ersten, die Fabrikation der Bleikabel behandelnden Theile dieser Mittheilungen (§. 139) erwähnten Vertheilungs-, bezw. Abzweigungskasten finden hauptsächlich bei großen Centralanlagen Anwendung; ihre Besprechung wird weiterhin folgen.

Zu den Patent-Blei-Doppelkabeln übergehend, ist zuerst das Anbringen der Endverschlüsse an Kabeln ohne Prüfdraht zu erläutern und zu bemerken, dass die eingangs gemachten Bemerkungen über die Verlegung und Bezeichnung der Kabel auch für die Patent-Blei-Doppelkabel gelten. Da aber bei diesen letzteren eine Unterscheidung zwischen positiven und negativen Kabeln nicht stattzufinden hat, sind die Zeichen + und — auf den Marken unnöthig, so dass diese Marken nicht als Polaritätszeichen, sondern nur als Kabelzeichen Geltung behalten. Auf diesen Kabelzeichen wird entweder nur der Gesammtquerschnitt, z. B. 300, oder auch zugleich der Querschnitt der Einzelleitungen, z. B. $300 = (2 \times 150)$ angegeben. Die letztere Bezeichnungsweise empfiehlt sich da, wo neben Doppelkabeln auch einfache oder Dreileiterkabel zur Anwendung kommen.

Mit Rücksicht auf das erforderliche freie Ende $a\,b$, Fig. 258, des inneren Leiters wird das (vorläufig noch gleichmäßig eingehüllt zu denkende) Kabel in entsprechender Entfernung vom Ende b bis zur Stelle c von den, das Kabel bedeckenden Umhüllungen, mit Ausschluss der unteren Juteschicht befreit. Diese wird bei d (40 mm von c) abgebunden, durch Entfernen des Theiles $d\,b$ derselben die Bleiumhüllung freigelegt und letztere durch Schaben gereinigt. Durch Beseitigung des Bleimantels und der äußeren Isolierschicht, legt man alsdann den äußeren Leiter L' von e bis b bloß, worauf man die Drähte bei f einfeilt und durch Umbiegen abbricht. Nun durschneidet man bei e die innere Isolierschicht, legt durch Entfernen derselben den inneren Leiter L frei und putzt denselben blank. Die Länge $a\,f$ des blankgeputzten inneren Leiters L ist gleich dessen frei bleibendem Ende $a\,b$ mehr dem festen Theile $b\,f$ des Gummifaçonstückes E, welches fest an den Leiter anliegt. Hierauf wird der äußere Leiter L' von f bis e durch das Entfernen des Bleies und der inneren Isolierschicht bloßgelegt. Die Länge des Stückes $e\,f$ bestimmt sich durch die Länge der Klemmenbacken B und

B' und die Länge des Stückes *f g*, welche letztere gleich ist dem Unterschiede zwischen dem röhrenförmigen Ansatze der vorderen Klemmenbacke *B'* und dem mittleren Theile des Gummifaçonstückes *E*. Behufs sorgfältiger Reinigung müssen die einzelnen Drähte des äußeren Leiters emporgehoben, alsdann aber in ihre ursprüngliche Lage zurück gebracht und bei *e* provisorisch mit einem Drahte umbunden werden.

Sodann entfernt man das 30 *mm* lange Bleirohrstück *e h* und umwickelt das freigelegte Isoliergespinst derartig mit Isolierband, dass der betreffende Theil mit dem Bleimantel gleichen Durchmesser erhält. Nachdem die Länge *c d* mit warmer Isoliermasse übergossen worden ist, wird der Gummischlauch *G* mit seinem überschlagenen Theile *h i*, von *a* aus über das präparierte Kabelende geschoben, bis sein hinteres Ende bei *c* anstößt. Hierbei dreht man den Schlauch in der Drallrichtung des Isoliergespinstes, in welcher Richtung auch die Umwickelung des Isolierbandes erfolgt. Nunmehr wird die hintere Klemmbacke *B* so aufgesetzt, dass der Rand ihres Rohres bei *e* anstößt, hierauf der umgeschlagene Theil des Gummischlauches *G* über den Kabeltheil *h i*, gezogen und an den in der Abbildung sichtbaren Stellen mit besponnenem Kupferdraht fest umschnürt. Selbstverständlich ist die beim Begießen des Kabeltheiles *h c* etwa auf die blanken Kupferdrähte gekommene Isoliermasse, vor dem Aufschieben der Klemmbacke, sorgfältig zu entfernen.

Ist das Kabelende in der angegebenen Weise hergerichtet, so werden die Drähte des äußeren Leiters an der Stirnseite der aufgesetzten Klemmbacke *B* radial emporgehoben, so dass dieselben an der Klemmbacke anliegen und derartig vertheilt, dass die Schraubenlöcher der Klemmbacke frei bleiben. Sind die über den Rand der letzteren hinausragenden Drahtenden entsprechend gekürzt, dann wird die zweite Klemmbacke *B'* aufgeschoben, nachdem zuvor die innere Isoliergespinsthülle mit einem trockenen Faden oder nöthigenfalls mit Isolierband umwickelt und mit Isoliermasse begossen worden ist, damit die Klemmbacke fest aufsitzt. Wenn hierauf die beiden Klemmbacken mittelst der Schrauben *s* fest zusammengezogen worden sind, so wird das über das Rohr der vorderen Klemmbacke *B'* hervorragende Isoliergespinst mit frisch in die Isoliermasse eingetauchtem Isolierband bis zu dem gleichen Durchmesser mit dem des Klemmbackenrohres umwickelt, alsdann das Gummifaçonstück *E* in bekannter Weise aufgeschoben und befestigt. Schließlich wird noch ein Stück Gummischlauch *G'* über die Klemmschraube *B B'* gezogen und durch umsponnenen Kupferdraht festgeschnürt.

Das beim Anbringen der Endverschlüsse an Patent-Blei-Doppelkabeln mit Prüfdraht einzuschlagende Verfahren ergibt sich aus einer Vereinigung dessen, was bezüglich des Anbringens der Endverschlüsse an einfache Patent-Bleikabel mit Prüfdraht bei Querschnitten über 100 mm^2, sowie an Patent-Blei-Doppelkabel ohne Prüfdraht gesagt worden ist, so dass die Ausführung ohne weiteres klar ist.

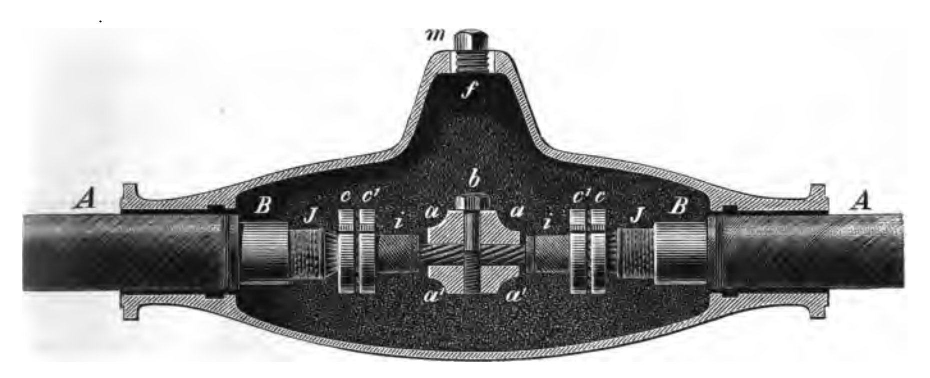


Fig. 289. Doppelkabel-Verbindungsmuffe.



Fig. 290. Doppelkabel-Verbindungsmuffe.

Die Verbindung der Patent-Blei-Doppelkabel durch gerade Muffen ist durch die Fig. 289 bis 292 dargestellt; die Beschreibung ihrer Herstellung erfolgt nachstehend:

Die zu verbindenden beiden Kabel werden an ihren Enden auf eine Länge, welche etwas geringer ist als die Hälfte der Muffenlänge von der, das Blei bedeckenden Umhülle befreit, so dass letztere bis zum inneren Rande des Muffenhalses reicht. An der Stelle, wo die Umhüllung endet, erfolgt ein Bestreichen mit Füllmasse und ein Bewickeln mit Naturgummi, wie dies bei der Herrichtung der geraden Muffe für einfache Kabel geschildert ist. An den Eintrittstellen *A* der Kabel in

die Muffe sind letztere soweit, als zur Erreichung einer guten Abdichtung erforderlich ist, mit getheerter Jute zu bewickeln. Nach erfolgter Umwickelung desselben an einer Stelle mit einem Gummistreifen wird der innere Leiter in einer, der halben Länge der Klemmen *aa'* entsprechenden Entfernung vom Ende freigelegt und gesäubert. Ist ein Prüfdraht vorhanden, so biegt man denselben beim Reinigen des Leiters zurück und bringt ihn dann wieder in seine frühere Lage. Hierauf legt man den äußeren Leiter, etwa in der Mitte zwischen der Klemme und dem Ende der äußeren Umhüllung, frei und putzt dessen Drähte blank. Ferner wird der Theil *J* der äußeren Isolierschicht, in etwa 30 *mm* Länge, vom Blei befreit, mit Isolierband bis zur Dicke des Bleirohres *B* umwickelt, das umwickelte Band fest gebunden und mit Isoliermasse begossen. In neuerer Zeit hat man wohl das Bewickeln mit Isolierband fortgelassen. Alsdann schiebt man den

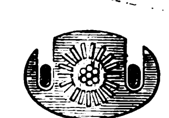


Fig. 291. Flansche.



Fig. 292. Muffe (Schnitt).

Flansch *c* bis an den Rand der Isolierschicht, worauf man die Drähte des äußeren Leiters an der äußeren Fläche des Flansches radial emporbiegt, Fig. 291, und in entsprechender Länge abschneidet. Nunmehr umwickelt man die, aus dem Flansch hervorstehende Isolierschicht *i* mit Isolierband, so dass der zweite Flansch *c'* sich noch mit Leichtigkeit darüber schieben lässt, begießt den so umwickelten Theil mit Isoliermasse und schiebt den zweiten Flansch *c'* darüber. Wenn beide Kabelenden in der angegebenen Weise hergerichtet sind, werden dieselben in die untere Muffenhälfte derartig eingelegt, dass die Enden der beiden inneren Leiter zusammenstoßen, worauf man diese Enden durch Umlegen und Zusammenziehen der Klemmenhälften *aa'* mittelst der Schraube *b* fest verbindet. Hierauf vereinigt man die beiderseitigen Flanschen *cc'*, deren große Achse horizontal liegen muss, Fig. 292, durch Einlegen und Festschrauben der beiden Stege *e*. Den etwa vorhandenen Prüfdraht des äußeren Leiters zieht man durch den vorderen Flansch und

stellt die Verbindung der Prüfdrähte der Leiter beider Kabel in bekannter Weise her.

Nachdem dies alles in der vorgeschriebenen Weise ausgeführt worden ist, wird die Muffe durch Auflegen der anderen Hälfte geschlossen, der innere leere Raum durch das Schraubenloch *m* mit Füllmasse ausgegossen und das Loch durch die Schraube ebenfalls geschlossen.

Bezüglich der, für die Patent-Bleidoppelkabel dienenden *T*-Muffen sind Abzweig- und Einschaltmuffen zu unterscheiden; die erstere Art illustriert Fig. 293, die zweite Art Fig. 294.

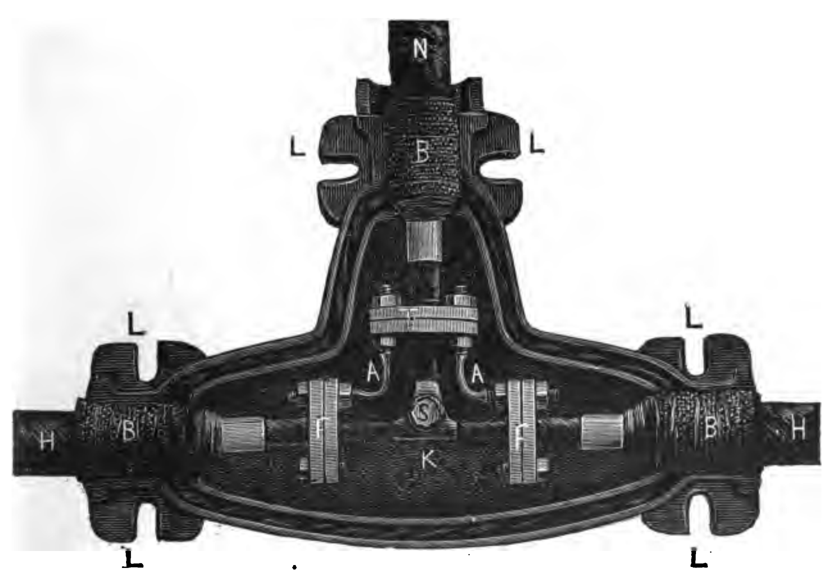


Fig. 293. Abzweigmuffe.

Es ist ersichtlich, dass bei der Abzweigmuffe, Fig. 293, die inneren Leiter des stromzuführenden Kabels *H* und des, den Strom abzweigenden Kabels *N* entsprechend mit einander durch eine Klemme *K*, mittelst der Schraube *S*, die Enden der äußeren Leiter dagegen, welche mit den Flanschen Kontakt bilden, durch die gekrümmten Bügel *A* verbunden sind. Bei der Einschaltmuffe, Fig. 294, ist der äußere Leiter des Hauptkabels einerseits mit dem inneren, andererseits mit dem äußeren Leiter des Nebenkabels verbunden.

Nach diesen Hinweisen dürfte die Ausführung der einen oder anderen Schaltung keine Schwierigkeiten bieten, und es ist nur noch zu bemerken, dass die Abmessungen der, in die Muffe einzuführenden

Kabelenden wesentlich durch die Abmessung der Bügel *A* bestimmt werden. Man hat zuerst das stromzuführende Kabel herzurichten, worauf man zur Herrichtung des Abzweig-, beziehungsweise Einschaltkabels übergeht. Die gelegentliche Benützung dieser beiden Schaltungsweisen ist an sich klar.

Einige Bemerkungen über die Kabelnetze für größere Lichtanlagen sind hier anzuschließen. Vor allem ist die Örtlichkeit und die zu liefernde Lichtmenge ins Auge zu fassen. Von dem Standort der Maschinen aus wird, mit Rücksicht auf die Beschaffenheit der weiteren Örtlichkeiten, das Kabelnetz entworfen.

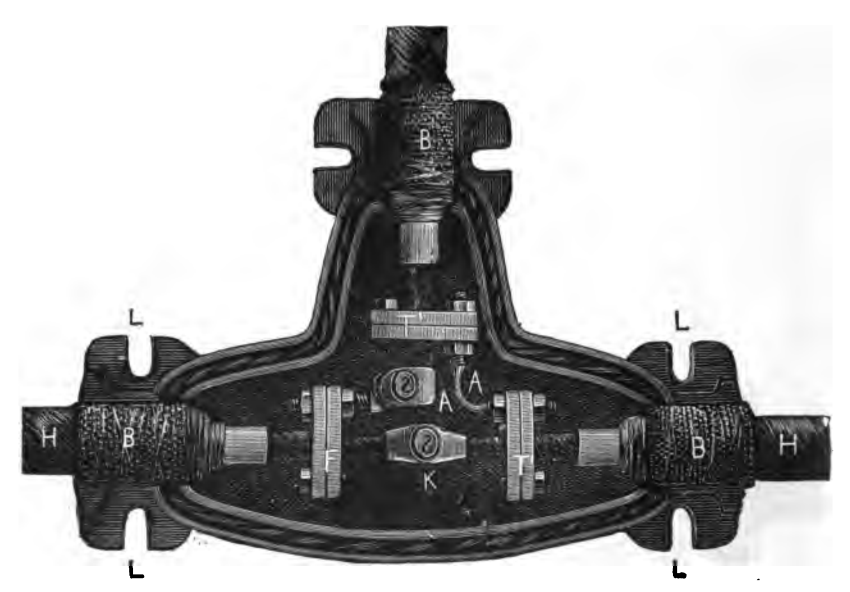


Fig. 294. Einschaltmuffe.

In einem solchen Kabelnetz sind zu unterscheiden:

1. Hauptkabel.
2. Vertheilungskabel.
3. Anschlusskabel.

Hauptkabel sind diejenigen Kabel, welche den elektrischen Strom von den Maschinen bis zu den gewissen Punkten des Kabelnetzes leiten, von denen aus alsdann derselbe nach den verschiedenen Bedarfsrichtungen vertheilt wird. Die Vertheilungskabel dienen zur Fortführung des Stromes von den Vertheilungspunkten, während die Anschlusskabel den Strom von den Vertheilungskabeln entnehmen und den einzelnen Lichtanlagen zuführen. Da der Kabelquer-

schnitt von der nach Normalkerzen gemessenen Lichtmenge und Entfernung zwischen Lichtquelle und Verwendungsstelle abhängig ist, derselbe aber aus technischen Gründen ein gewisses Maß nicht überschreiten kann, so ergibt sich einerseits die Nothwendigkeit, bei Wahl der Centralstation darauf bedacht zu sein, dieselben allen zu beleuchtenden Punkten möglichst nahe zu legen, und andrerseits das Kabelnetz in entsprechend viele Lichtkreise zu theilen. Je nach Umständen kann ein Hauptkabel zur Speisung von einem Lichtkreise oder von mehreren Lichtkreisen dienen.

Als weitere Aufgabe liegt die Feststellung der Punkte vor, von denen aus die Abzweigungen stattfinden sollen und es sind diese Punkte, sowie der Ort der Centralstation auf einem Plane zu verzeichnen, wobei unter den darauf anzugebenden Kabel-Querschnitten diejenigen der etwa vorkommenden einfachen Kabel mit dem Polaritätszeichen + oder —, entsprechend der in ihnen vorhandenen Stromrichtung erkenntlich zu machen sind. Auch erscheint es als zweckmäßig, die einzelnen Abzweigungspunkte von vornherein zu bezeichnen, wozu wohl am besten die laufende Numerierung dient. Sind die Abzweigungspunkte und deren Entfernungen von der Centralstation, sowie der sich hieraus ergebende Kabelbedarf nach Querschnitt und Länge festgestellt, so ist auch noch der Bedarf der sogenannten Garniturtheile zu bestimmen. Zu diesen Garniturtheilen gehören:

1. Verbindungsmuffen (— Muffen).
2. Abzweigungsmuffen (⊥ Muffen).
3. Kreuzmuffen (+ Muffen).
4. Abzweigungskasten.
5. Vertheilungskasten.

Wo und wie die, unter 1 bis 3 angeführten Theile zur Verwendung kommen, ist bereits im Vorstehenden angegeben worden, so dass nur noch die Beschreibung der Einrichtung und der Benutzung der Abzweigungs- und Vertheilungskasten erübrigt.

Die von Siemens & Halske konstruierten Vertheilungskasten sind von zweierlei Art, nämlich:

I. Vertheilungskasten mit Luftisolation.
II. Vertheilungskasten mit Isolierfüllung.

Eine weitere Unterscheidung wird durch die in die Kasten einzuführenden Kabel bedingt, nämlich:

I A Vertheilungskasten mit Luftisolation für einfache Kabel.
I B Vertheilungskasten mit Luftisolation für Doppelkabel.
I C Vertheilungskasten mit Luftisolation für Dreileiterkabel.

II A Vertheilungskasten mit Isolierfüllung für einfache Kabel.

II B Vertheilungskasten mit Isolierfüllung für Doppelkabel.

II C Vertheilungskasten mit Isolierfüllung für Dreileiterkabel.

Bezüglich der Abtheilungen *I A* und *II A* sind noch zu unterscheiden:

I A^1 und *II* A^2 einpolige Kasten für einfache Kabel.

I A^2 und *II* A^2 zweipolige Kasten für einfache Kabel.

Die Vertheilungskasten mit Luftisolation sind bisher nur für einfache Kabel verwendet worden und haben sich beispielsweise bei den Berliner und Wiener Centralanlagen vorzüglich bewährt, während für Doppel- und Dreileiterkabel, mit gleichem Erfolg, Kasten mit Isolierfüllung Verwendung fanden.

Als Isolierfüllung hat bei den Vertheilungskasten theils vollständig wasserfreier, schwedischer Kientheer, theils Isolieröl von sehr hohem specifischem Gewicht Verwendung gefunden. Beide Füllungen ergaben sehr gute Erfolge, doch wird in neuerer Zeit nur das Isolieröl zum Ausgießen der Füllkasten verwendet.

Die Vertheilungskasten mit Luftisolation unterscheiden sich von denen mit Isolierfüllung außer der schon erwähnten, durch deren Bezeichnung ausgedrückten Eigenthümlichkeit, zunächst durch ihre Form, jene sind viereckig, diese rund. Die übrigen Unterschiede ergeben sich aus der folgenden Beschreibung der Kasten.

Die Vertheilungskasten mit Luftisolation, Fig. 295 und 296.

An diesen Kasten, von denen zunächst die zweipoligen, als die älteren in Betracht kommen, sind die folgenden Hauptth eile zu unterscheiden:

1. Der eigentliche Kasten A, A_1, A_2 A_3.
2. Die an den Kasten angeschraubten Stutzen *St*.
3. Die Sammelstücke E, E_1.
4. Die Kupferverbindungen *K*.
5. Die Bleisicherungen *B*.
6. Der Brunnenrahmen *C*.
7. Das Fundament *F*.

Der gusseiserne Kasten, von der aus Fig. 295 und 296 ersichtlichen Form, besteht aus dem Untertheile A, A_1, A_2, A_3 und dem mit den Griffen *G* versehenen Deckel. Der luftdichte Verschluss zwischen Kasten und Deckel wird durch eine Gummidichtung erzielt, welche auf den mit Schraubenbolzen versehenen Kastenrand aufgelegt ist und gegen welche der Deckel mit Bronzemuttern angezogen wird. Die Größe der Kasten richtet sich nach der Zahl der einzuführenden, bezw. auszuführenden

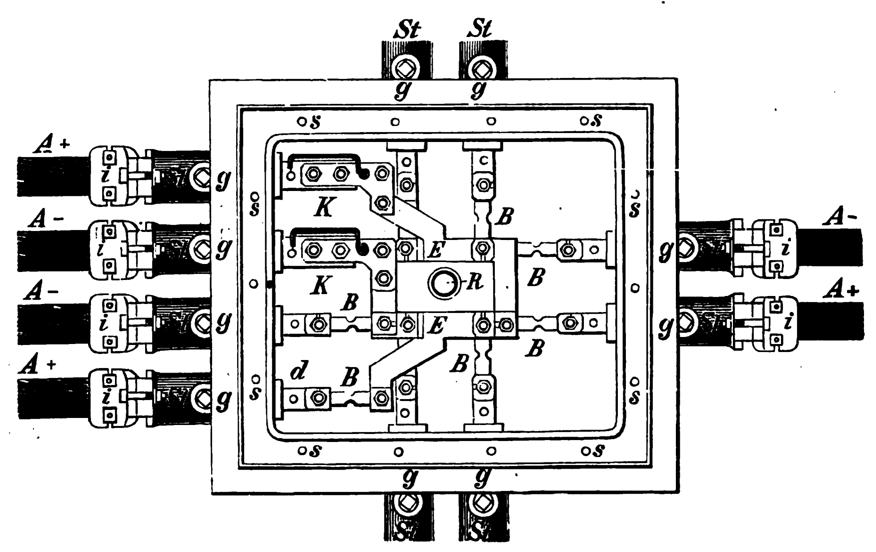


Fig. 295. Vertheilungskasten.

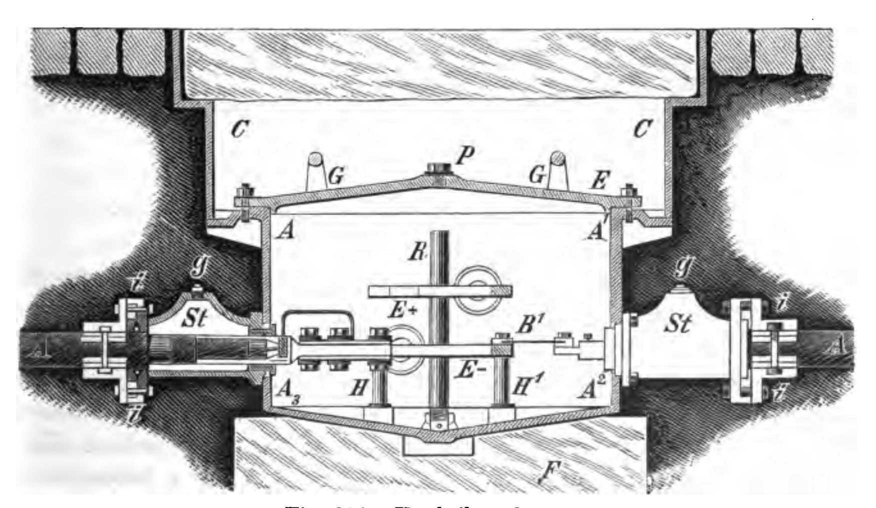


Fig. 296. Vertheilungskasten.

Kabel, welche Zahl, da sich hiernach die Zahl der zum Aufschrauben der Stutzen erforderlichen Öffnungen mit deren abgedrehten Ansätzen richtet, von vornherein zu bestimmen ist. Benützt man nicht sogleich alle Öffnungen, so verschließt man die unbenutzten durch aufgeschraubte, mit Gummiplatten abgedichtete Blindflansche. Bei der Vertheilung der Öffnungen auf die vier Wände, ist Rücksicht auf die, den Kabeln zu gebende Richtung zu nehmen und darauf zu achten, dass stets zwei

Öffnungen (für das + und für das — Kabel) übereinander und die zu einer Polarität gehörigen Öffnungen in eine Horizontalebene zu liegen kommen. Seitlich von dem Rohre *R* sind vier Erhöhungen auf den Kastenboden angegossen, auf welchen die Stützen der Sammelstücke *H* und H^1 aufgeschraubt werden.

Die Stutzen *St*, Fig. 297, sind gusseiserne Büchsen, welche an dem, von der Kastenwand abgewandten Ende einen länglichen, oben und unten geschlitzten Flansch *f* haben und an der nach oben gerichteten Fläche mit einem, durch Schraubenstöpsel verschließbaren Einguss *g* versehen sind. Diese Stutzen werden, entsprechend dem Durchmesser der durchzuführenden Kabel, ausgebohrt und an der Kastenseite mit einem Hartgumieinsatz versehen, welcher genau nach dem durchzuführenden Endverschluss ausgebohrt und so lang ist, dass er durch die Kastenwand hindurchgeht. An dem, mit geschlitztem Flansch ver-

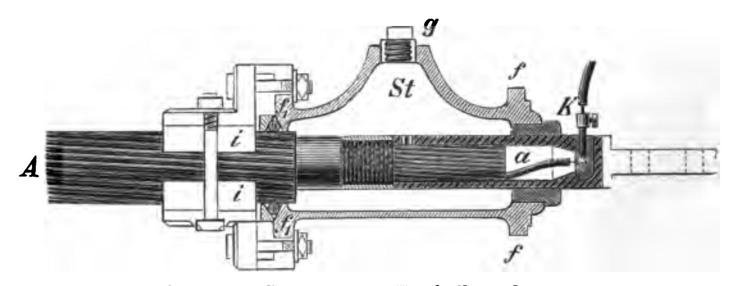


Fig. 297. Stutzen zum Vertheilungskasten.

sehenen Ende werden die Schellen *i* durch Schrauben befestigt; dieselben dienen zum Festklemmen des Kabels. Um eine Dichtung zwischen Stutzen und Kasten zu erhalten, ist an dem betreffenden Ende des Stutzens ein abgedrehter Ansatz angebracht, welcher mittels einer aufgelegten Gummiplatte, durch Anziehen der vier Schrauben am Kasten, abgedichtet wird. Sobald das mit dem Endverschluss versehene Kabel in den Stutzen eingeführt und mittels der Schellen *i* befestigt ist, wird der Stutzen durch die Öffnung *g* mit Füllmasse ausgegossen. Bei Einführung der Kabel in den Kasten ist darauf zu achten, dass die den Prüfdraht haltende Klemmschraube *K* des Endverschlusses nach oben und die angefräßte Fläche des letzteren genau horizontal zu liegen kommt. Die Endverschlüsse für Vertheilungskasten unterscheiden sich von den für Kabel mit litzenförmigen, im Kupferquerschnitt über 100 mm^2 haltenden und mit Prüfdraht versehenen, Leitern bestimmten Endverschlüssen nur dadurch, dass sie etwas länger als diese sind und vorn einen Ansatz haben, welcher sich an den Hartgummiring

anlegt, wodurch die Lage der Endverschlüsse zu den Sammelstücken genau bestimmt wird; das letztere ist von großer Wichtigkeit, weil die Entfernung zwischen der Klemmschraube des Endverschlusses und dem Sammelstück der Länge des dazwischen zu legenden Kupferverbindungsstückes, beziehentlich der Länge der Bleisicherung entsprechen muss.

Die aus verzinnten Kupferschienen bestehenden Sammelstücke $E+$ und $E-$ sind je nach Zahl und Lage der einzuführenden Kabel geformt und haben entsprechend den Querschnitten der betreffenden, Kabel verschiedene Querschnitte. Für die positiven und negativen Kabel ist je ein solches Sammelstück vorhanden; dieselben sind durch isolierende Säulchen von einander getrennt und werden durch ebensolche Säulchen getragen, welche auf den durch eiserne Schienen verbundenen, oben erwähnten Ansätzen des Kastens ruhen. Mit dem einen Sammelstück werden sämmtliche positive, mit dem anderen Sammelstück sämmtliche negative Kabel verbunden und zwar erfolgt die Verbindung der Hauptkabel mittels Kupferstücken, die Verbindung der Vertheilungskabel mittels Bleisicherungen in der Weise, dass das eine Ende der Kupferverbindungsstücke beziehungsweise Bleisicherungen mit der Klemmschraube des Endverschlusses des betreffenden Kabels, das andere Ende durch eine Kopfschraube auf dem Sammelstück befestigt ist.

Die Kupferverbindungen dienen — wie bereits bemerkt wurde — zur Vereinigung der Hauptkabel mit dem Sammelstück; dieselben werden mit rechteckigem, der Stärke des zu leitenden Stromes entsprechenden Querschnitt hergestellt und bestehen aus vergoldetem (neuerdings auch verzinntem) Kupfer. Ihre Befestigung, sowohl an dem Endverschlusse, als auch an dem Sammelstück besorgen Schrauben. Jedes Kupferverbindungsstück ist mit einer Messingschraube versehen, mittels welcher der Prüfdraht mit dem Sammelstück in leitende Verbindung gebracht wird.

Die Bleisicherungen bestehen aus Bleiblechstreifen von geeigneter Länge und Dicke, die an jedem ihrer Enden in einen vergoldeten Kupferknopf eingelöthet sind, welcher mit einem, zum Einschieben unter die Klemschrauben dienenden Ausschnitt versehen ist. Die Breite und Stärke der Bleistreifen wird nach dem durchgehenden elektrischen Strome bemessen. Auf halber Länge des Streifens erscheint sein Querschnitt durch seitliche Einschnitte soweit vermindert, dass sich die Erwärmung bei einer gewissen Stromstärke bis zum Schmelzpunkte des Bleies steigert, der Bleistreifen schmilzt und so die Kabel u. s. w. vor Schaden bewahrt bleiben.

Der Brunnenrahmen besteht aus dem eigentlichen, auf den Kasten aufgesetzten Rahmen und dessen Deckel. Der Rahmen ist aus

Gusseisen hergestellt und ruht auf dem, durch Rippen getragenen Kastenrande, während der Deckel entweder aus Gusseisen oder aus einer Steinplatte besteht. Damit das, durch den Deckel tretende Wasser abfließen kann, erscheint der Kastenrand an verschiedenen Stellen durchbohrt. Zur gehörigen Auflage des Deckels ist der Rahmen oben entsprechend ausgearbeitet.

Das Fundament wird dem Kasten nach Form, Größe und Lage angepasst und aus Ziegelmauerwerk hergestellt.

Die Verwendungsweise der Kasten ist die folgende:

An dem Orte der Aufstellung gräbt man eine entsprechend tiefe und weite Vertiefung aus, weshalb man die Stelle in den städtischen Straßen so zu wählen hat, dass man nicht auf vorhandene Gas- oder Wasserrohre oder andere Hindernisse stößt. In der Mitte der hergestellten Vertiefung wird das Fundament eingemauert; dasselbe muss so eingerichtet sein, dass die Kabel möglichst winkelrecht nach den betreffenden Seitenwänden des Kastens gehen und daher bei runden Kasten gegen deren Mittelpunkt gerichtet sind.

Da die Ausführung der Fundamentierung jedenfalls zeitraubend ist, so hat man diese Arbeit rechtzeitig in Angriff zu nehmen, damit die Aufstellung des Kastens vor der Verlegung der Kabel bis an dessen Aufstellungsort beendet erscheint.

Bei der Einführung der Kabel in den Kasten muss man darauf sehen, dass dieselben eine richtige Länge haben, d. h. dass ihre, mit Endverschlüssen versehenen Enden genau den erforderlichen Abstand von den Sammelstücken erhalten, um mit diesen durch die Kupferverbindungsstücke, bezw. Bleisicherungen verbunden werden zu können. Die eigentliche Montage der Kasten besteht zunächst in der Herstellung der Endverschlüsse der Kabel. Hierauf führt man die Enden in die Stutzen ein und befestigt dieselben an letzteren mittels der Schellen.

Diese Arbeit wird dadurch erleichtert, dass man die Stutzen vom Kasten losschraubt und nach deren Anbringen an den Kabelenden wieder am Kasten befestigt. Hat man sich überzeugt, dass die Kabelenden die richtige Lage haben, so gießt man den Stutzen mit Füllmasse aus. Zweckmäßig ist es, mit der Einführung derjenigen Kabel zu beginnen, welche mit dem unteren Sammelstück verbunden werden sollen.

Die zu einem zweipoligen Kasten, Fig. 270 und 271, gehörigen Stutzen, Endverschlüsse und Sammelstücke sind von der Fabrik aus mit dem betreffenden Polaritätszeichen versehen; an den Stutzen, sowie an den Verbindungsstücken ist auch noch der Kupferquerschnitt des betreffenden Kabels vermerkt. Da auch die Kabel entsprechende Bezeichnungen (durch Polaritätszeichen) erhalten, so unterliegt die richtige

Einführung derselben keiner Schwierigkeit. Wenn die sämmtlichen Kabelenden in den Kasten eingeführt, die Stutzen vergossen, die Eingussöffnungen mit den Schraubenstöpseln verschlossen und die Stutzen am Kasten (eventuell auch die Blindflansche) luftdicht verschraubt worden sind, so verbindet man die Endverschlüsse der Kabel mit den entsprechenden Sammelstücken durch die Kupferverbindungsstücke bezw. Bleisicherungen, verschraubt den Deckel luftdicht mit dem Kasten und legt den Deckel des Brunnenrahmens auf. Ist man genöthigt, die Montierung des Kastens bei feuchtem Wetter vorzunehmen, so empfiehlt es sich, ein Gefäß mit Chlorcalcium in den Kasten zu stellen, damit die Feuchtigkeit der in letzterem eingeschlossenen Luft von dem Salz aufgesogen wird.

Die einpoligen Vertheilungskasten unterscheiden sich von den zweipoligen dadurch, dass sie nur ein Sammelstück haben, da sie — wie dies die Benennung andeutet — zur Aufnahme von Kabeln gleicher Polarität bestimmt sind. Die Benutzung der einpoligen Kasten, an Stelle der zweipoligen, kann durch gewisse Verhältnisse, wie solche z. B. bei der Berliner Centrale vorlagen, bedingt sein. Eine eingehende Beschreibung der einpoligen Kasten ist nicht erforderlich, da dieselben mit der Einrichtung der zweipoligen dem Princip nach übereinstimmen. Werden einfache Patent-Bleikabel zu Beleuchtungsanlagen mit dem Dreileitersystem verwendet, wie bei der Centrale in Darmstadt, so sind dreipolige Kasten erforderlich.

Die Kasten mit Luftisolation für Patent-Bleidoppelkabel und Dreileiterkabel sind bisher noch nicht zur Anwendung gekommen.

Die Kasten mit Isolierfüllung, gleichviel für welches Kabelsystem sie bestimmt sind, haben eine runde Form und die Stutzen, welche bei den Kasten mit Luftisolation selbständige Theile bilden, sind bei diesen an die flach cylindrischen Kasten angegossen. Charakteristisch ist für die Kästen mit Isolierfüllung, dass die Kabelenden ohne Endverschlüsse in dieselben eingeführt werden. Letztere erscheinen hier entbehrlich, weil die Kabelenden durch das sie umgebende Isolieröl vor dem Zutritt der Feuchtigkeit geschützt sind.

Bemerkt sei weiters, dass auch Kabel verschiedener Systeme in ein und denselben Kasten eingeführt werden können. Alle diese Änderungen beschränken sich indessen nur auf die Zahl der Stutzen und die Anordnung der Sammelstücke, wesentlich sind sie alle gleich.

Die Abzweigkästen für Patent-Bleidoppelkabel und Patent-Dreileiterkabel sowie die Vertheilungskästen für Patent-Bleidoppelkabel und Patent-Dreileiterkabel von Siemens & Halske haben eine ähnliche

Einrichtung wie die Abzweig- oder Hausanschlusskasten für Patent-Bleikabel.

Die Verbindungsmuffen für konzentrische Doppelkabel, Fig. 298, sind für Primär- und Sekundärkabel bestimmt. Grenzen der Kupferquerschnitte: 2×10 *mm*² bis 2×500 *mm*².



Fig. 298. Verbindungsmuffe.

Fig. 299 veranschaulicht eine Verbindungsmuffe für verseilte Dreifach- (Drehstrom-) Kabel. Grenzen der Kupferquerschnitte 3×10 *mm*² bis 3×120 *mm*².

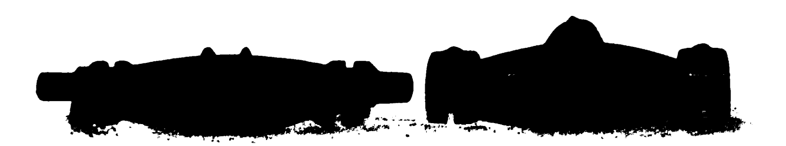


Fig. 299. Verbindungsmuffe.

Fig. 300 gibt einen Abzweigkasten mit Bleisicherungen für Dreifach-(Drehstrom-) Kabel wieder. Dieser Kabelkasten eignet sich für die Abzweigung eines Dreifach- (Drehstrom-)Kabels sowohl bei Hausanschlüssen, als auch für die Stromvertheilung im Kabelnetz selbst. Die Bleisicherungen sind nur bei Verwendung eines Brunnenrahmens und Deckels vom Straßenniveau aus iederzeit zugänglich.



Fig. 300. Abzweigkasten.

VII. Kapitel.

Die Stromvertheilung.

90. Die Wahl des Stromvertheilungssystemes hängt von den folgenden Punkten ab:

1. Das Vertheilungssystem muss die größte Wirtschaftlichkeit und das höchste elektrische Güteverhältnis ergeben. Im allgemeinen sind die Anlagekosten desto kleiner, je höher die Betriebsspannung ist.

2. Das Vertheilungssystem hat für die Sicherheit des Betriebes Rechnung zu tragen.

Der Gleichstrom ist für die Beleuchtung, die Kraftübertragung und in der Elektrochemie, der Wechselstrom hauptsächlich für die Beleuchtung auf große Entfernungen verwendbar. Brauchbare Wechselstrommotoren sind zuerst von Nikola Tesla, Dolivo von Dobrowolsky (Allgemeine Elektricitätsgesellschaft in Berlin), Oerlikon, C. E. L. Brown, Ganz & Co. und Anderen konstruiert worden.

91. Eintheilung. Die Stromvertheilungssysteme werden eingetheilt:

1. Direkte Stromvertheilung, wenn der Strom ohne Umsetzung verbraucht wird, d. h. wenn der Stromerzeuger und die Verbrauchsstelle in demselben Stromkreise liegen.

2. Indirekte Stromvertheilung, wenn der Strom des Stromerzeugers durch einen Zwischenapparat (Transformator, Sammler u. s. w.) umgesetzt wird. Die Stromnehmer (Lampen, Motoren u. s. w.) empfangen den Strom nur aus den Zwischenapparaten.

Bei der indirekten Stromvertheilung sind zwei Stromkreise vorhanden. In dem einen (primären) Stromkreise befindet sich die Stromquelle, in dem anderen (sekundären) Stromkreise dagegen sind die Stromnehmer eingeschaltet. Beide Stromkreise verbinden Sammler, Gleich- oder Wechselstromtransformatoren miteinander.

92. Die Reihen- oder Serienschaltung, Fig. 301. Bei dieser Schaltung sind sämmtliche Lampen hintereinander geschaltet. Dieses System benützt als Stromquelle in der Regel die Reihenmaschine; da der Maschinenstrom sämmtliche Lampen durchfließt, arbeitet die Dynamo mit niederer Stromstärke (gewöhnlich 10 Ampère) und hoher Spannung. Die Durchmesser der Leitungen sind demnach klein, die

Kupferkosten gering und große Entfernungen leicht zu nehmen. Hingegen sind damit die Nachtheile verbunden:

1. Der ganze Betrieb hängt von der ruhigen Thätigkeit der einzelnen Lampen ab.

2. Sind 50 Bogenlampen, von welchen jede etwa 45 Volt verbraucht, hintereinander geschaltet, so beträgt die erforderliche Gesammtspannung beiläufig 50 × 45 = 2250 Volt; diese Spannung macht schon bei Gleichstrom die Bedienung der Anlage gefährlich.

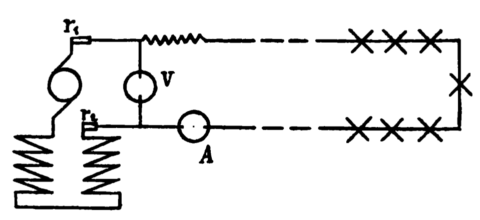


Fig. 301. Reihenschaltung.

3. Eine Unterbrechung an irgend einer Stelle der Leitung führt die Unterbrechung des ganzen Stromkreises herbei.

4. Hochgespannte Ströme erfordern eine äußerst sorgfältige Isolation.

Die Hintereinanderschaltung von Glühlampen wurde von Bernstein, Heissler, sowie Siemens ausgeführt.

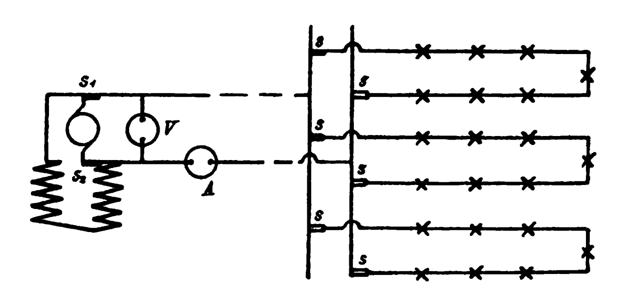


Fig. 302. Mehrfache Reihenschaltung.

Werden mehrere Lampenstromkreise, Fig. 302, von derselben Maschine betrieben, so muss dieselbe eine Nebenschlussmaschine sein. Ausgeschaltete Lampengruppen bewirken Spannungsdifferenzen, welche entweder durch Ersatzwiderstände oder Bürstenverschiebungen behoben werden können.

Die Hintereinanderschaltung der Wechselstromtransformatoren, Fig. 303. Von einer Wechselstrommaschine *W. M.*

aus geht eine Leitung durch die primären Windungen der Transformatoren T_1 bis T_5. Die sekundären Windungen sind in die betreffenden Lampenstromkreise eingeschaltet und können entweder sämmtlich hintereinander geschaltet sein oder, so wie es der Transformator T_4 in der Figur anzeigt, in Abtheilungen Verwendung finden. In derselben Figur bestehen die sekundären Windungen des Transformators T_4 aus zwei Abtheilungen, welche zwei voneinander vollständig getrennte Lampenstromkreise speisen. Für die Hintereinanderschaltung der primären Windungen erweist sich die Hintereinanderschaltung der Lampen als zweckentsprechend. Der Betrieb erfolgt mit beständiger Stromstärke.

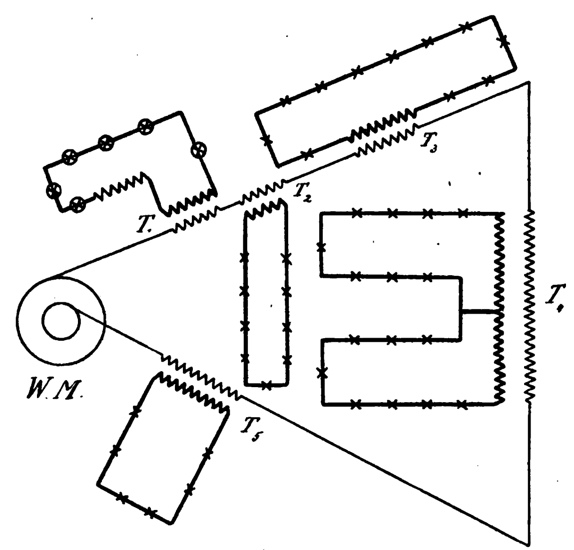


Fig. 303. **Transformatoren hintereinander.**

Die Spannung richtet sich nach der Anzahl der eingeschalteten Transformatoren. Die Hintereinanderschaltung der Transformatoren fand zuerst und nur bei den Transformatoren von G a u l a r d & G i b b s (II. Th. 1. B.) in der elektrotechnischen Industrie praktische Verwendung.

93. Die Nebeneinanderschaltung (Zweileitersystem), Fig. 304. Bei diesem Systeme sind die Lampen entweder einzeln oder in Gruppen nebeneinander geschaltet. Dieses Vertheilungssystem besteht aus zwei parallelen Leitern, den beiden Polen des Stromerzeugers, von welchen an der Verbrauchsstelle die Abzweigungen ebenfalls parallel erfolgen.

Während bei der Hintereinanderschaltung beim Anschließen einer Lampe die Leitung unterbrochen werden muss und die Lampe den

Schluss dieser Unterbrechungsstelle besorgt, sind bei der Nebeneinanderschaltung die Lampen von den beiden Polen, der positiven und negativen Leitung, ohne dieselben zu unterbrechen, parallel abgeschaltet. Der wichtigste Nachtheil der Nebeneinanderschaltung sind die großen Kosten für das Kupfer der Leitung, da mit höheren Stromstärken und niederen Spannungen gearbeitet wird, als bei der Reihenschaltung. Zu den hauptsächlichsten Vortheilen der Nebeneinanderschaltung zählen:

1. Die Unabhängigkeit sämmtlicher Apparate und Stromkreise von einander und die damit verbundene Betriebssicherheit.

2. Die Ungefährlichkeit der Bedienung.

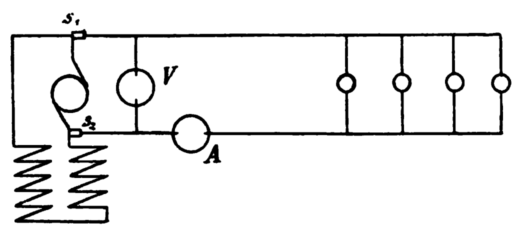


Fig. 304. Zweileitersystem.

Beim Zweileitersystem bilden Nebenschlussmaschinen die Stromerzeuger, deren magnetisches Feld, beziehungsweise Klemmenspannung durch den Magnetrheostat gleich erhalten wird. Die zumeist angewendeten Spannungen sind 110 und in neuester Zeit 250 Volt. In

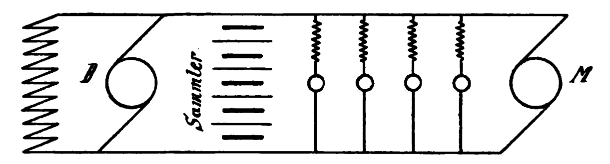


Fig. 305. Zweileitersystem mit Sammler.

Fig. 304 sind einzelne Glühlampen parallel geschaltet. Die weiter von der Stromquelle entfernten Lampen empfangen, infolge des Spannungsverlustes in der Leitung. eine geringere Spannung. Wilhelm Siemens hat schon 1882 diesen Nachtheil der einfachen Nebeneinanderschaltung dadurch beinahe gänzlich behoben, dass er die Stromerzeuger zweckmäßig vertheilte. Nebenschlussmaschinen, in deren Magnetwindungen Magnetautomaten eingeschaltet sind, geben bei Belastungs- und Umdrehungszahländerungen stets gleiche Spannung und gestatten deshalb an entfernteren Stellen Glühlampen von niederer Spannung einzuschalten, die bei Maschinen ungleicher Spannung Gefahr laufen würden,

da dauernde Spannungsänderungen von $3^0/_0$ die Lebensdauer der Glühlampen bedeutend verkürzen. Das Regulieren der Spannung durch Widerstände im Hauptstromkreise ist nicht wirtschaftlich, weil damit Kraftverluste verbunden sind; besser bewährt sich schon eine stärkere Bemessung der Leitungsdrähte.

Ein einfachstes Schema der Einschaltung eines Sammlers in ein Zweileitersystem zeigt Fig. 305. Neben thätigen Lampen wird der Elektromotor *M* angetrieben. Das Laden des Sammlers und das Speisen der Stromnehmer erfolgt gleichzeitig. Der Sammler gleicht Spannungsdifferenzen im Leitungsnetze aus und kann den Betrieb theilweise oder gänzlich (indirekte Stromvertheilung) übernehmen. Der letzte

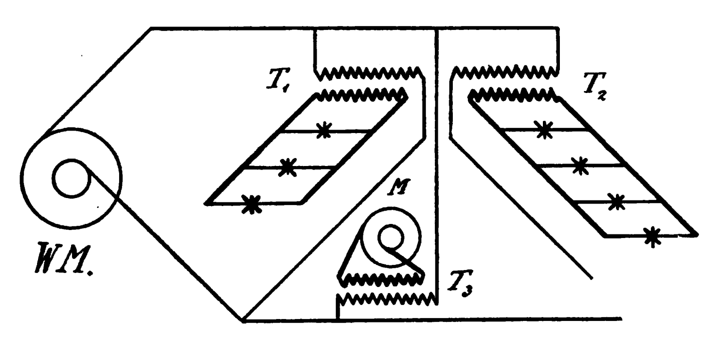
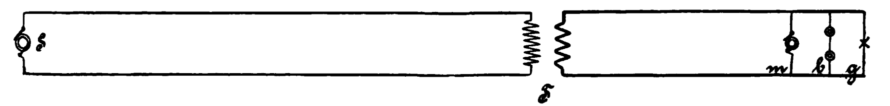


Fig. 306. Transformatoren nebeneinander.


Fig. 307. Einphasensystem.

Fall ist bei der Stromvertheilung dann vorgesehen, wenn der Stromverbrauch ein sehr geringer wird oder wenn die Betriebsdynamo versagt. Ausführliche Schaltungsschemen einer Nebeneinanderschaltung von Dynamo, Sammler und Lichtleitung sind im II. Th., 4. Buch wiedergegeben.

Fig. 306 veranschaulicht den Anschluss der Transformatoren T_1, T_2 und T_3 an den Stromkreis einer Wechselstrommaschine *W. M.* Von dem Transformator T_3 wird der Wechselstrommotor *M* angetrieben. Die Anzahl der Lampen in den einzelnen Stromkreisen kann eine verschiedene sein. Lampen und Motoren können einzeln, hintereinander, nebeneinander, sowie es die Lampen der Figur zeigen, oder gemischt geschaltet sein.

Fig. 307 stellt eine Wechselstrommaschine S dar, welche durch eine Fernleitung mit den primären Windungen des Transformators T verbunden ist; in die sekundären Windungen desselben Transformators sind der Wechselstrommotor m, die Bogenlampen b (der Beruhigungswiderstand zu den Bogenlampen wurde in der Zeichnung weggelassen) und die Glühlampe g eingeschaltet. Ebenso können an die Wechselstrommaschine S weitere Transformatoren nach den verschiedensten Richtungen hin angeschlossen werden. In der Fig. 307 ist an die Fernleitung nur der Transformator T angeschlossen. Anstatt eines Transformators können auch mehrere nebeneinander (Fig. 306) oder hintereinander (Fig. 303) geschaltet werden.

Die Nebeneinanderschaltung der Wechselstromtransformatoren, Fig. 306, wurde zuerst von Zipernovsky, Déri und Bláthy im Jahre 1885 praktisch durchgeführt.

Glüh- und Bogenlampen werden zumeist in Nebeneinanderschaltung unter Voraussetzung der Betriebsspannungen von etwa 60, 120, 220 und mehr Volt verwendet. Den Bogenlampen ist ein sogenannter Beruhigungswiderstand vorgeschaltet, welcher insbesondere dann große Bedeutung erlangt, wenn die Lampen durch irgend einen Zufall kurzgeschlossen werden. Dann würden, falls die Sicherung zu stark bemessen wäre, fast der gesammte Maschinenstrom durch die kurzgeschlossene Lampe fließen, die Isolation der Drähte der Hauptspule derselben verkohlen, sämmtliche Lampen der Anlage verdunkeln und der Betrieb entweder theilweise oder vollkommen gestört. Die Gleichstrombogenlampen regulieren bei 35 bis 45 Volt. Bei 60 Volt Betriebsspannung müssen deshalb mindestens 15 Volt durch den Vorschaltwiderstand verbraucht werden. Durchfließen die Lampe 10 Ampère, so muss der Vorschaltwiderstand

$$W = \frac{E}{J} = \frac{15}{10} = 1{\cdot}5 \text{ Ohm sein.}$$

Wirtschaftlicher arbeitet eine Nebeneianderschaltung mit höherer Spannung, da sich die Leitungsquerschnitte bei derselben bedeutend vermindern. Eine solche Stromvertheilung stellt Fig. 308 dar. Die Leitungen besitzen bei gleichem Spannungsverluste und doppelter Betriebsspannung den vierfachen Widerstand, also den vierten Theil des Kupfergewichtes; auch ist für 2 Bogenlampen nicht der doppelte Vorschaltwiderstand der einfachen Lampe erforderlich. Beträgt die Betriebsspannung 120 Volt, so werden 2 Bogenlampen mit einem gemeinsamen Vorschaltwiderstande, so wie es die Figur zeigt, hintereinander, die 120-Volt-Glühlampen dagegen einzeln parallel geschaltet.

Wendet man Glühlampen zu 150 Volt an, so werden bei derselben Vertheilung 3 Bogenlampen hintereinander geschaltet, wodurch sich der Betrieb abermals wirtschaftlicher gestaltet. Einen weiteren Vortheil bietet die letztere Vertheilung bei Hintereinanderschaltung von je zwei Glühlampen von 150 Volt und je 6 Bogenlampen, doch vermindert sich in dem letzteren Falle die Betriebssicherheit, da mit der einen Glühlampe

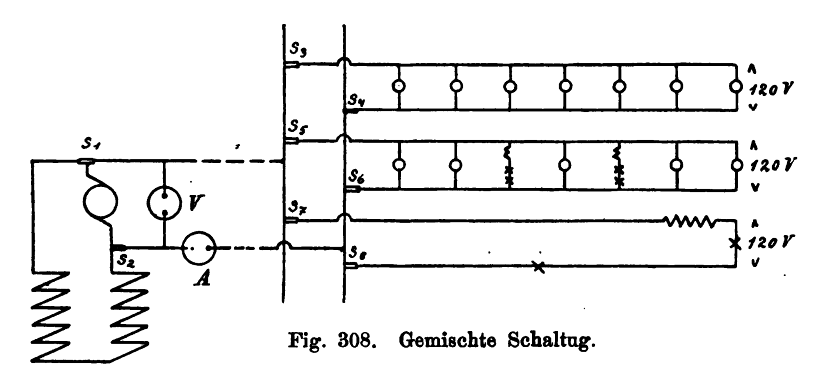


Fig. 308. Gemischte Schaltug.

die zweite, mit der einen Bogenlampe alle 6 hintereinander geschalteten Bogenlampen versagen oder Automaten, beziehungsweise Ersatzwiderstände, erforderlich werden, die nicht nur die Montage erschweren, sondern auch die Kosten der Anlage bedeutend erhöhen.

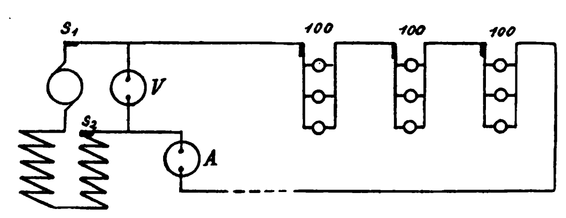


Fig. 309. Gemischte Schaltung.

Das Zweileitersystem ist nur bis bei 110 Volt Nutzspannung auf 800 *m* Entfernung, bei 220 Volt Nutzspannung auf 1600 *m* Entfernung von der Maschinenstation zweckentsprechend. Bei höheren Spannungen kann man die Entfernungen proportional vergrößern. Kommen bei diesem Systeme Leitungen nahe nebeneinander zu liegen, so ist es für die Aufrechterhaltung der gleichen Spannung vortheilhaft, sogenannte Ausgleichsleitungen anzuwenden.

94. Die gemischte Schaltung ist eine Vereinigung der Reihen- und Nebeneinanderschaltung und besitzt demnach die Vor- und Nach-

theile dieser beiden Vertheilungssysteme. Eine solche Stromvertheilung besteht z. B., Fig. 309, in einer Reihenschaltung von Gruppen nebeneinander geschalteter Lampen und ist nur bei großen Entfernungen praktisch, da wohl an Leitungsmaterial, im Verhältnisse zur Nebeneinanderschaltung, bedeutend erspart wird, aber Kurzschluss- oder Umschaltapparate platzgreifen müssen, wenn nicht ganze Gruppen von

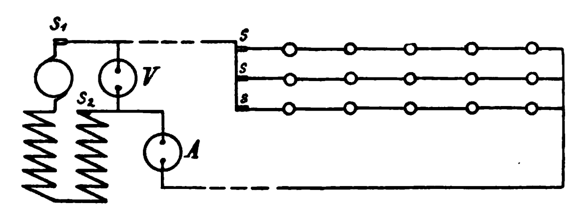


Fig. 310. Gemischte Schaltung.

Lampen versagen und andere Gruppen schadhaft werden sollen. Diese Schaltungsweise ist, z. B. für die Straßenbeleuchtung von Temesvar, verwendet worden.

Fig. 310 stellt die Nebeneinanderschaltung von Glühlampenreihen nach Bernstein und Edison dar.

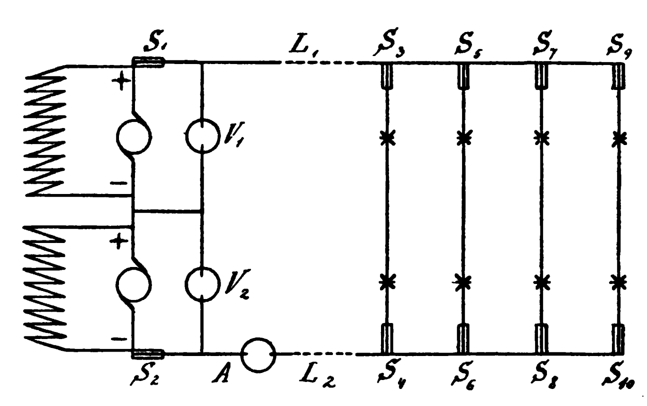


Fig. 311. Zweileitersystem.

95. Das Dreileitersystem (Hopkinson, Edison). Denkt man sich, Fig. 311, zwei Dynamomaschinen von je 100 Volt Spannung hintereinander geschaltet, so kann man in die Außenpole der Dynamo die beiden parallelen Außenleiter L_1 und L_2 und dazwischen je 2 Glühlampen zu je 100 Volt einschalten. In dieser Vertheilung versagt jedoch die eine Lampe mit der zweiten.

Zieht man, Fig. 312, von der Verbindung der Innenpole aus einen Innenleiter (Mittel-, Null- oder Alternativ-Leiter), so ist dieser Übelstand behoben. Das so entstandene Vertheilungssystem wird, da hier drei Leiter parallel nebeneinander gezogen sind, Dreileitersystem genannt.

Die Drei-, 4-, 5-, 6-, 7- und Mehrleitersysteme entstehen dadurch, dass von 2, 3, 4, 5, 6 und mehr hintereinander geschalteten Maschinen 3, 4, 5, 6, 7 und mehr parallele Drähte zu den Verbrauchsstellen geführt werden. Bei gleicher Belastung der Theilsysteme sind die Mittelleiter stromlos. Die Innenleiter sind stets nur mit der Differenz der Ströme der beiden angrenzenden Theilsysteme belastet.

Das Dreileitersystem hat den Nachtheil, dass in den beiden Hälften desselben die Stromstärken einander gleich sein müssen, eine Bedingung, die sehr schwer zu erfüllen ist. Der Vortheil gegen die

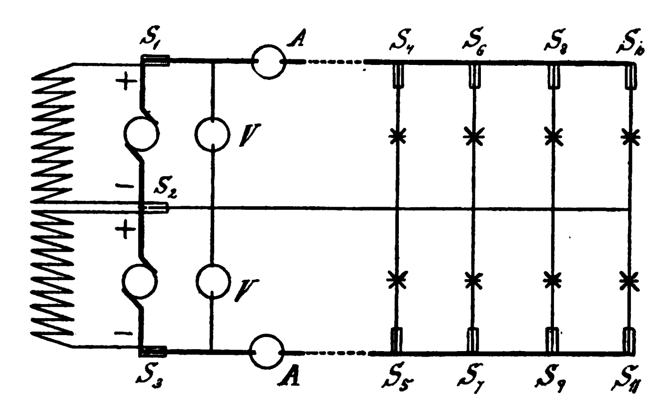


Fig. 312. Dreileitersystem.

einfache Nebeneinanderschaltung besteht darin, dass es im wesentlichen eine Hintereinanderschaltung von 2 parallelen Stromkreisen darstellt, weshalb die Leitung den vierfachen Widerstand und damit den vierten Theil des Querschnittes erhält. Es werden deshalb an 30% an Leitungsanlagekosten erspart. Der Mittelleiter dient zum Ausgleich bei ungleicher Belastung der beiden Hälften des Systemes und erhält den halben Querschnitt wie jeder der Hauptleiter. Durch den Mittelleiter fließt nur dann Strom, wenn die Belastung in den beiden Zweigen des Systems eine verschiedene ist. Den Querschnitt des Mittelleiters nimmt man gewöhnlich halb so groß, wie den der Außenleiter.

Die Spannungstheilung erfolgt entweder durch zwei hintereinander geschaltete Dynamos, Fig. 312, beziehungsweise Sammlerbatterien, Fig. 313, oder es kommen Dreileiterdynamos zur Aufstellung, welche im

Bedarfsfalle von zwei hintereinander geschalteten Batterien unterstützt werden, oder aber, es werden Dynamos für die Außenspannung verwendet und die Spannungstheilung erfolgt durch zwei Batterien, welche direkt in der Centrale oder in einer dem Konsumgebiete näher liegenden Unterstation aufgestellt sind. Letztere Anordnung erfolgt besonders dort, wo die Centrale abseits von dem Konsumgebiete liegt.

Bei den Dreileitermaschinen [1]) wird der Mittelleiter von einer dritten Bürste oder von dem Nullpunkte eines besonderen Apparates abgezweigt.

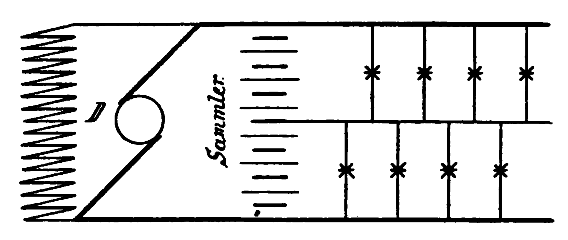


Fig. 313. **Mittelbares Dreileitersystem.**

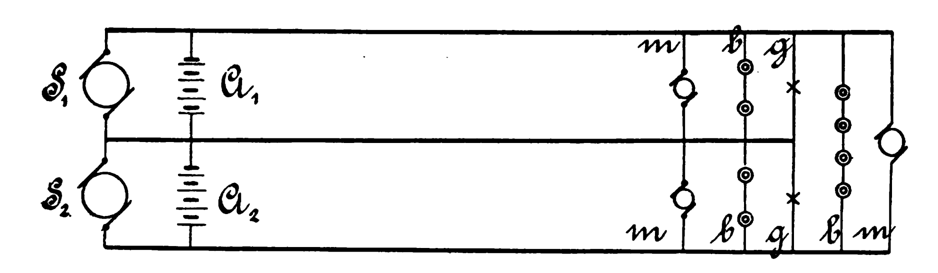


Fig. 314. **Mittelbares Dreileitersystem.**

Fig. 314 stellt ein Dreileitersystem mit Sammlern dar. S_1 und S_2 sind zwei Dynamomaschinen, A_1 und A_2 zwei Sammler. Zwei der Motoren *mmm* erscheinen zwischen der einfachen, ein größerer dagegen zwischen die doppelte Spannung eingeschaltet. *gg* versinnlichen Glühlampen, *b* Bogenlampen.

In Wechselstrombetrieben werden sowie in Sammlerbetrieben (Fig. 305) nur Maschinen für die Außenspannung benutzt. Die Theilung der Spannung besorgen:

---

[1]) v. Dolivo-Dobrowolsky (Allgemeine Elektricitätsgesellschaft), Elektrotechnische Zeitschrift 1894, Seite 323.

G. W. Meyer, Kombinirte Stromvertheilung, Elektrotechnische Zeitschrift 1900, Seite 860.

Dettmar (A. Rothert, Elektrotechnische Zeitschrift 1897, Seite 230, 247).

1. Transformatoren mit nur einer Wickelung. Der Mittelleiter zweigt dann von deren Mitte ab, Fig. 315.

2. Transformatoren, welche von hoher Spannung auf niedere transformieren; dann wird der Mittelleiter von der Mitte der Niederspannungswickelung abgezweigt, Fig. 316.

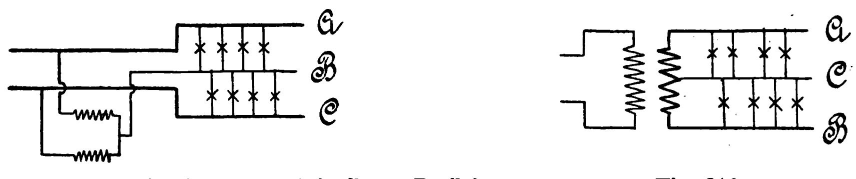


Fig. 315. Mittelbares Dreileitersystem. Fig. 316.

Wegen Störung des Fernsprechbetriebes darf bei Wechselstrom der Mittelleiter nicht geerdet werden. Bei Gleichstrombetrieb kann man den Mittelleiter (verzinkter, blanker Kupferdraht) an Erde legen.

Der Mittelleiter darf keine Sicherung enthalten:

1. Sind die einzelnen Gruppen ungleichmäßig belastet, so würde beim Abschmelzen der Sicherungen im Mittelleiter der Strom aus der größeren Lampengruppe durch die kleinere fließen, so dass dieselben zu stark beansprucht wären.

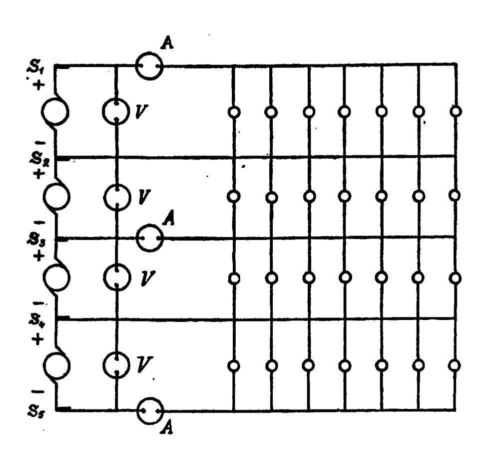


Fig. 317. Fünfleitersystem.

2. Im Falle der Mittelleiter gesichert ist kann bei Kurzschluss zwischen Außen- und Mittelleiter die Mittelleitersicherung durchschmelzen, so dass die Lampengruppen auf der anderen Seite des Dreileitersystems die Außenleiterspannung erhalten und durchbrennen oder explodieren.

Anstatt zwei Maschinen kann weiters eine Maschine mit doppelter Spannung im Dreileitersystem Verwendung finden.

Das Dreileitersystem erweist sich bei einer Nutzspannung von 2 × 110 Volt bis auf Halbmesser von 1200 bis 1800 *m*, bei einer Nutzspannung von 2 × 220 Volt bis auf Halbmesser von 3 *km* als praktisch durchführbar.

96. Das Fünfleitersystem (Edison, Hopkinson), Fig. 317. Diese Figur stellt eine Verdoppelung des in Fig. 312 gezeichneten Dreileitersystemes dar. Es sind somit bei diesem Systeme 4 Dynamo gleicher Spannung hintereinandergeschaltet. Von den Endklemmen der 1. und 4. Dynamo führen die 2 Haupt- oder Außenleitungen, von den 3 inneren gemeinschaftlichen Klemmen die 3 Mittelleiter. Die Spannung zwischen je 2 Leitern ist gleich der einfachen, die Spannung zwischen den 2 Haupt-

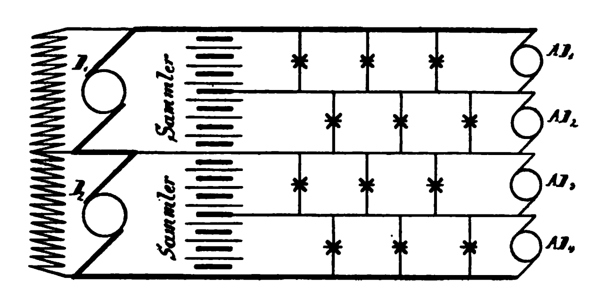


Fig. 318. Fünfleitersystem.

leitungen der vierfachen Spannung der einzelnen Dynamo. Die Spannung zwischen den Hauptleitungen muss demnach bei derselben Klemmenspannung an der Dynamo 4 mal so groß sein, als beim Zweileitersystem; der Querschnitt der Leitungen ergibt sich somit als 16 mal kleiner, wie beim Zweileitersystem. Ähnlich wie beim Drei- wird beim Fünfleitersystem der Querschnitt der Mittelleiter mit dem 4. Theil des Querschnittes der Hauptleiter bemessen. Die Hausanschlüsse erfolgen beim 3-, 4- und 5-Leitersystem in der Regel bis zu 30 Lampen zu je 16 Normalkerzen mit 2 Leitern, bis zu 60 solchen Lampen mit 3 Leitern und bis zu 80 solchen Lampen mit 5 Leitern. Ähnlich sowie beim Dreileitersystem kann auch beim Fünfleitersystem ein Sammler die Theilung der Spannung besorgen. Ein solches Schaltungsschema stellt Fig. 318 dar. Bei den Fünf- und Mehrleitersystemen vermehren sich die Schwierigkeiten bezüglich der Aufrechthaltung gleicher Spannung. Dieser Nachtheil der genannten Systeme kann durch Regulatoren, Sammler, Ausgleichsdynamomaschinen $A\,D_1$ bis

A D_4, Fig. 318, u. s. w. behoben werden. Letztere Maschinen verwenden Siemens & Halske zum Ausgleiche ungleicher Belastungen in den einzelnen Zweigen des Leitungsnetzes. Die Ausgleichsmaschinen dieser Firma bestehen aus zwei Nebenschlussmaschinen auf gemeinsamer Grundplatte. Die Magnetkörper der einzelnen Maschinen sind entweder zu einem Magnetkörper vereint oder voneinander getrennt, so zwar, dass sich die beiden Anker entweder in einem einzigen magnetischen Felde (innerhalb zweier gemeinsamer Magnetschenkel) oder in zwei von einander getrennten magnetischen Feldern (innerhalb je zweier Magnetschenkel) bewegen. Zum Zwecke vollkommener Regulierung hat sich insbesondere die letztere Anordnung bewährt.

Fig. 319 veranschaulicht ein Fünfleitersystem.

Bezeichnungen: S_1 bis S_4 Dynamos, A_1 bis A_4 Sammler, *mm*, *mm* und *m* Motoren, *bb bb* und *b* Bogenlempen, *gg* Glühlampen.

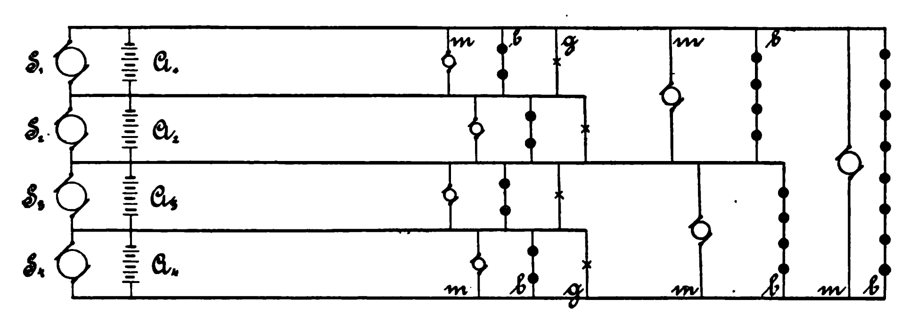


Fig. 319. Fünfleitersystem.

Siemens & Halske haben 2 Fünfleitersysteme erdacht, von welchen das eine in dem die Centrale umgebenden Gebiete mit einem Dreileitersysteme verbunden ist. Das eigentliche Fünfleitersystem befindet sich in den entfernteren Gebieten.

Die Maschinenfabrik Esslingen baut für das Fünfleitersystem eigene Dynamo mit 4 Ankerwickelungen.

Je größer die Anzahl der Mittelleiter ist, desto niedriger stellen sich die Anlagekosten für die Leitungen. Beim Siebenleitersystem beträgt diese Ersparnis etwa 43%, beim Zehnleitersysteme etwa 45%.

Die Spannung zwischen den beiden Außenleitern ist gleich der Summe der Spannungen von den vier Gruppen. Die Innenleiter können wie beim Dreileitersystem halb so stark dimensioniert werden wie die nach der Rechnung gefundenen beiden Außenleiter. Dieses System vermehrt die Vortheile des Dreileitersystems bezüglich der Kupferersparnis und Verwendbarkeit für größere Gebiete, wird jedoch nur selten aus-

geführt, da die gleichmäßige Belastung von vier Gruppen schwer beizubehalten ist und die Verlegung von fünf Leitungen, so wie die Nebenmaterialien große Ausgaben veranlassen.

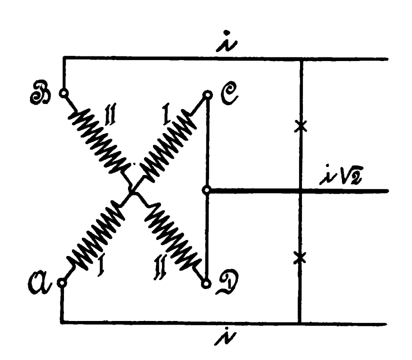


Fig. 320. Verkettetes Zweiphasensystem.

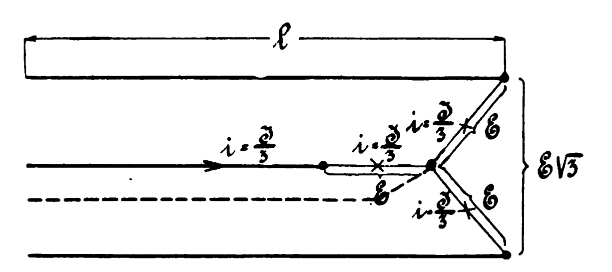


Fig. 321. Sternschaltung.

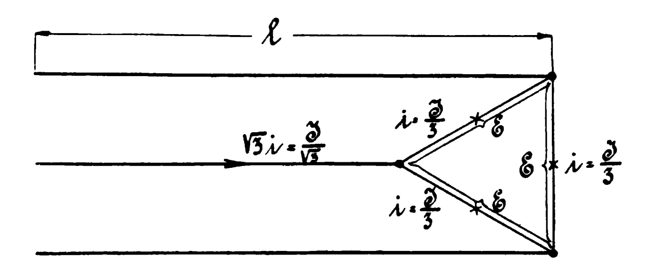


Fig. 322. Dreieckschaltung.

97. Mehrphasensysteme. Von den vielen Mehrleitersystemen werden in der Praxis zumeist die nachfolgenden, Fig. 320 bis 323, verwendet.

1. Verkettetes Zweiphasensystem, Fig. 320. Die Ströme in den Spulen *A I I C* und *B II II D* haben gegeneinander eine Phasen-

verschiebung von 90°. Der Strom in der gemeinsamen Rückleitung hat den Wert $i\sqrt{2}$, ($\sqrt{2} = 1{\cdot}4142$ oder rund 1·4), wenn der Strom in je einer der beiden anderen Leitungen den Wert i hat.

Beweis: *a*) Versuch. Schaltet man einen Stromzeiger in die gemeinsame Rückleitung, einen zweiten Stromzeiger in eine der beiden anderen Leitungen, so findet man, dass die Stromstärke in der Rückleitung 1·4142mal so groß ist, als in einer der beiden anderen Leitungen.

b) Rechnung. Da die beiden Wechselströme 90° Phasendifferenz haben, so ist der eine $i \sin \alpha$, der andere $i \cos \alpha$ und die Summe beider $i \sin \alpha + i \cos \alpha = i \sin \alpha + i (\sin 90 + \alpha) = i [\sin \alpha + \sin (90 + \alpha)] =$ $= i \sin (\alpha + 45^0) \cos 45^0 = \sqrt{2}\, i \sin (\alpha + 45^0) = 1{\cdot}4142\, i \sin (\alpha + 45^0)$, d. h.: Der Strom in der gemeinsamen Rückleitung ist 1·4142mal so groß, als der Strom in einer der anderen beiden Leitungen und die Phasenverschiebung zwischen dem resultierenden Strome und den einzelnen Strömen beträgt 45°.

c) Graphische Lösung. Setzt man nach dem Kräfteparallelogramm so wie bei Kräften die 2 gleichen um 90° gegeneinander verschobenen

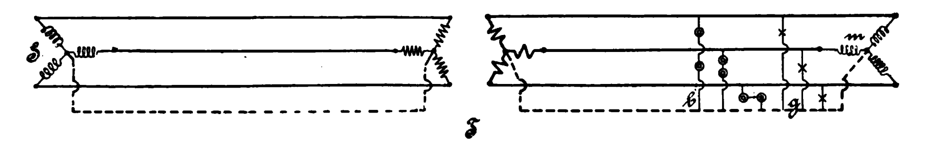


Fig. 323. Drehstromanlage.

Ströme zu einer Resultierenden zusammen, so ergibt sich das obige Verhältnis sofort aus dem Parallelogramm und man ersieht, dass die Phasenverschiebung zwischen dem resultierenden Strome und den einzelnen Strömen 45° beträgt.

2. Sternschaltung. Durch die in Fig. 321 und Fig. 322 dargestellten Vertheilungssysteme werden drei, in der Phase gegen einander verschobene Wechselströme von gleicher Amplitude und Periodenzahl derart in gegenseitige Abhängigkeit gebracht, dass ihre algebraische Summe in jedem Zeitmomente gleich Null wird. Sind drei Drähte zur Stromfortleitung verwendet, so sind demnach die im zwei Leitern abfließenden Ströme gleich dem in dritten Leiter fließenden Rückstrom. Die Phasenverschiebung beträgt dabei je 120°. Eine solche Anordnung bezeichnet man als Dreiphasenstrom oder allgemein als Drehstrom und unterscheidet man je nach der Ausführung zwischen der Stern- und der Dreiecksschaltung.

Bei der Sternschaltung, Fig. 321, sind die drei Wicklungsgruppen des Generators derart mit einander verbunden, dass je ein Ende zu einem gemeinsamen Punkte (neutraler Punkt) führt, während die freien Anfänge mit den Abzweigleitungen in Verbindung stehen. Die Stromverbrauchsgegenstände werden, mit Ausnahme der Motoren, entweder wie bei der Dreiecksschaltung zwischen je zwei solche beliebige Leitungen geschaltet oder aber zwischen je eine derselben und eine vom neutralen Punkt abgezweigte Leitung. Letztere Anordnung wird besonders dann benützt, wenn eine sehr ungleiche Belastung der Gruppen voraussichtlich ist und zum Ausgleich ein neutraler Leiter nothwendig erscheint. Gewöhnlich hilft man sich jedoch in der Weise, dass man bei den Generatoren, Transformatoren und Motoren den neutralen Punkt an Erde legt und der Einfachheit wegen nur drei Leitungen zieht.

Die Sternschaltung besitzt gegenüber dem Zweileitersystem den Vortheil günstigerer Ausnützung des Leitungsmateriales und erleichterten Antriebes der Motoren, welch letztere aus gleichen Gründen wie früher angegeben, an alle drei Phasen angeschlossen werden.

Bei diesem Systeme sind bei Weglassung des neutralen Leiters die Spannungen zwischen je zwei Leitern größer wie bei der Dreiecksschaltung, nachdem sie gleich der Spannung einer Wicklungsgruppe mal $\sqrt{3}$ sind. Die Stromstärken in den Leitungen stimmen dagegen mit denen der Wickelungen überein.

Bei der Sternschaltung, Fig. 321, sind die Ströme in den drei Leitungen und die Ströme in den drei Lampengruppen bei gleichmäßiger Belastung des Systemes einander gleich. Die Spannung zwischen je zwei Hauptleitungen ist jedoch 1·7321mal so groß, als die Spannung einer Lampengruppe. Hat die Spannung einer Lampengruppe den Wert E, Fig. 321, so ist der Wert der Spannung zwischen je zwei der drei Leitungen $= 1{\cdot}7321\, E = \sqrt{3}\, E$.

Beweis:

a) Versuch. Schaltet man, ähnlich wie beim Zweiphasenstrom, einen Spannungszeiger an eine Lampengruppe und einen anderen Spannungszeiger zwischen zwei Hauptleitungen, so ersieht man, dass die Ablesung des letzteren Instrumentes 1·7321mal so groß ist, als die Ablesung des ersteren.

b) Rechnung. Sei die Spannung der einen Spule $e \sin \alpha$, so ist die Spannung der nächsten Spule $e \sin (\alpha - 120^0)$, daher die Differenz dieser Spannungen $e \sin \alpha - e \sin (\alpha - 120^0) = \sqrt{3}\, e \sin (\alpha + 30^0)$, d. h. die Spannungen an den Lampengruppen verhalten sich zu den Spannungen zwischen den Hauptleitungen wie 1 : 1·7321 und die Phasen-

verschiebung zwischen der resultierenden Spannung und zwischen der Spannung der Gruppen beträgt 30°.

c) Graphische Lösung. Setzt man in einem Diagramm nach Art der Kräfte im Kräfteparallelogramm die Spannungen zusammen, so erhält man dasselbe Ergebnis wie unter *b*) (I. Th., 1. B., S. 273, Fig. 269).

3. Dreiecksschaltung. Bei der in Fig. 322 angegebenen Dreiecksschaltung sind die drei Wicklungsgruppen des Generators hintereinander geschaltet und von den Verbindungsstellen drei gleich starke Leitungen abgezweigt. Mit Ausnahme der Motoren werden die Stromverbrauchsgegenstände zwischen je zwei beliebige Leitungen (jedoch möglichst gleichmäßig) geschaltet, da in allen Gruppen gleiche Spannungen herrschen. Diese stimmen andererseits mit den Spannungen der zugehörigen Generatorwicklungen überein, während die Stromstärke in einer Leitung gleich Stromstärke einer Gruppe mal $\sqrt{3}$ (= 1·7321 oder rund 1·73) beträgt. Die Motoren werden behufs Erzielung eines Drehfeldes und günstiger Belastungsvertheilung an alle drei Leiter angeschlossen, so dass sie ohne besondere Hilfsmittel auch mit Belastung angehen. Nebst diesem Vortheil ist gegenüber dem Zweileitersystem noch die günstigere Ausnützung des Leitungsmateriales besonders hervorzuheben. Im Betriebe zeigt sich ferner, dass auch bei verschiedener Belastung der Gruppen die Spannungen annähernd gleich sind.

Bei der Dreieckschaltung gilt für die Stromstärken dasselbe, was bei der Sternschaltung für die Spannungen galt. Die Spannungen zwischen den drei Hauptleitungen und die Spannungen an den Lampengruppen sind einander gleich; der Strom in einer der drei Hauptleitungen ist jedoch 1·7321 mal so groß, als der Strom in einer Lampengruppe. Hat der Strom in einer Lampengruppe den Wert i, so ist der Strom in einer der drei Hauptleitungen $= 1{\cdot}7321\, i = \sqrt{3}\, i$. Der Strom $i = \frac{I}{3}$, wenn $I =$ Gesammtstrom der Stromabnehmer.

Der Beweis kann für die Ströme der Dreieckschaltung sowie für die Spannungen der Sternschaltung erbracht werden.

Es ergibt sich demnach für Zwei- und Dreiphasenströme die folgende Regel:

Bei der Sternschaltung ist die verkettete Stromstärke gleich der Phasenstromstärke, bei der Dreieckschaltung ist die verkettete Spannung gleich der Phasenspannung.

Bei der Sternschaltung ist die verkettete Spannung gleich 1·7321mal der Phasenspannung, bei der Dreieckschaltung ist die verkettete Stromstärke 1·7321mal der Phasenstromstärke.

Bei der Stern- und Dreieckschaltung vertauschen demnach Strom und Spannung ihre Plätze.

Fig. 323 gibt eine Anlage mit Sternschaltung mit einer Leitung zwischen den neutralen Punkten wieder. Bezeichnungen: *S* Drehstrommaschine, *T* Drehstromtransformator, *b* Bogenlampen, *g* Glühlampen, *m* Elektromotor. Zwischen der Drehstrommaschine *S* und dem Drehstromtransformator *T* befindet sich die Fernleitung.

Fig. 324 veranschaulicht eine Drehstromanlage in Dreieckschaltung. Bezüglich der Buchstaben sei auf die Erklärung zu Fig. 323 verwiesen. Drehstromdynamo *S* und Transformator *T* sind ebenfalls durch Fernleitungen verbunden.

Das Schaltungsschema einer Drehstromanlage bringt Fig. 325. Bezeichnungen: *DM*, *DM* Drehstrommaschinen, *DT*, *DT*, *DT* Drehstromtransformatoren, *WT*, *WT* Wechselstromtransformatoren, *BL* Bogenlampen sammt Drosselspulen, *GL* Glühlampen, *AL* Knotenpunktsleitung.

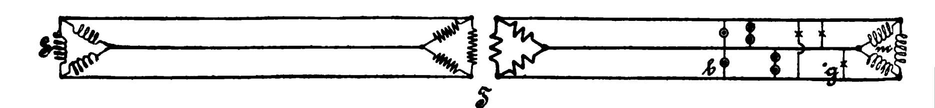


Fig. 324. Drehstromanlage.

98. Die Gegenschaltung. Durch diese Schaltung ist die Bedingung der gleichen Spannung an sämmtlichen Lampen mit nur zwei Leitungen häufig vortheilhaft zu erreichen.

Die gleiche Spannung an sämmtlichen Lampen ist insbesondere in Frankreich durch die Nebeneinanderschaltung mit Gegenschaltung (en boucle), Fig. 326 erreicht worden. Eine Leitung ist durch die ganze Anlage hin- und sich selbst parallel wieder zurückgeführt. Erst auf dem letzterem Wege sind die Lampen abgezweigt. Diese Schaltungsweise hat jedoch keine weitere Verbreitung gefunden, da sich die Kosten des Leitungsmateriales dabei noch höher stellen, als bei der einfachen Nebeneinanderschaltung. Eine andere Anordnung dieser Schaltung zeigt Fig. 327.

99. Die Schleifenschaltung, Fig. 328, wurde schon auf der elektrischen Ausstellung in Steyer angewendet. Der positive Pol der Dynamomaschine *D* ist mit dem einen, der negative Pol mit dem zweiten Recktecke durch je eine sogenannte Speiseleitung (Feeders) in Verbindung; *m*, *n* und *o* sind die Zweigleitungen zu den Lampen.

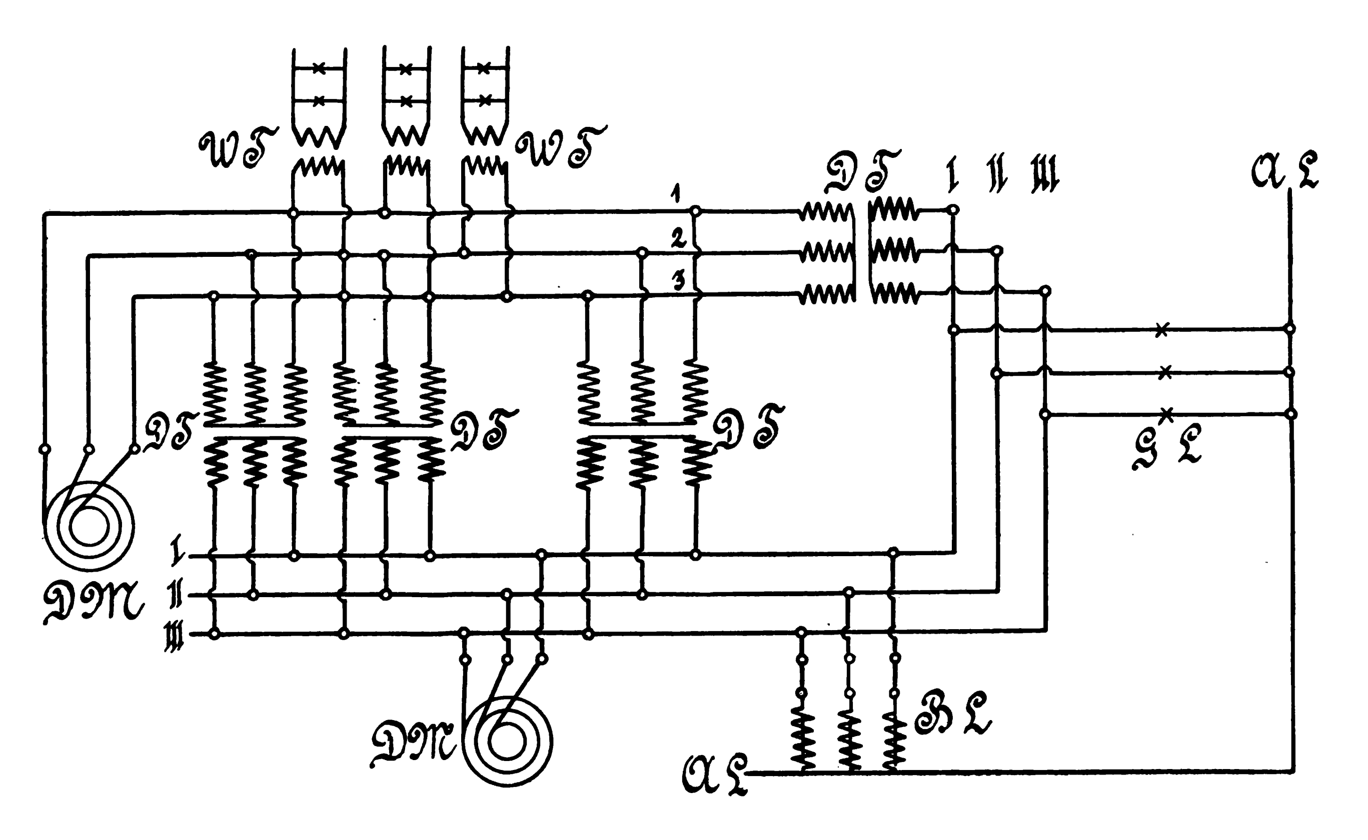


Fig. 325. Schaltung einer Mehrphasenstromanlage.

Dieses Stromvertheilungssystem bildet die Grundlage für die folgende Kreis- (Ring-) Schaltung und die Stromvertheilung in den Centralstationen.

100. Die Kreisschaltung, Fig. 329, stellt sich insbesondere für große Beleuchtungsanlagen und Centralstationen vortheilhaft. Die Haupt-

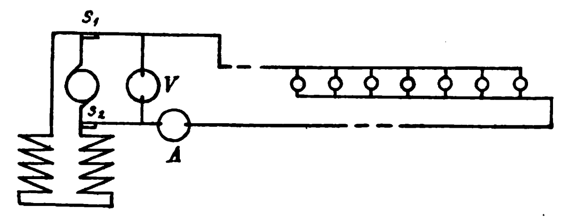


Fig. 326. Gegenschaltung.

leiter bilden parallel verlaufende, in sich geschlossene Schlingen, denen von einer, innerhalb derselben gelegenen Maschine oder Maschinengruppe der Strom in mehreren Zweigen zugeführt wird.

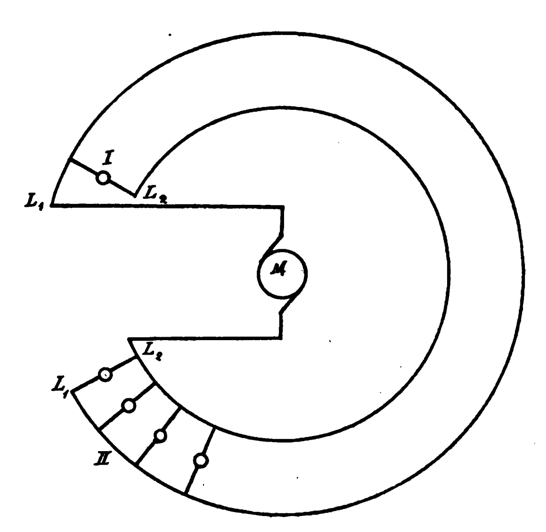


Fig. 327. Gegenschaltung.

Das Ringsystem Fritsche[1]) ist in Fig. 330 schematisch wiedergegeben. Der innere Ring stellt die positive, der äußere die negative Leitung dar. Beim positiven Strang sind die Anschlusspunkte

[1]) Centralblatt für Elektrotechnik 1887, Seite 618.

E_1 bis E_6 durch volle Kreise, bei dem negativen Strang die Punkte E'_1 bis E'_6 durch helle Kreise bezeichnet.

e_m, beziehungsweise e_o, ebenfalls durch einen vollen und einen hellen Kreis bezeichnet, bedeuten die Vereinigungspunkte, der positiven,

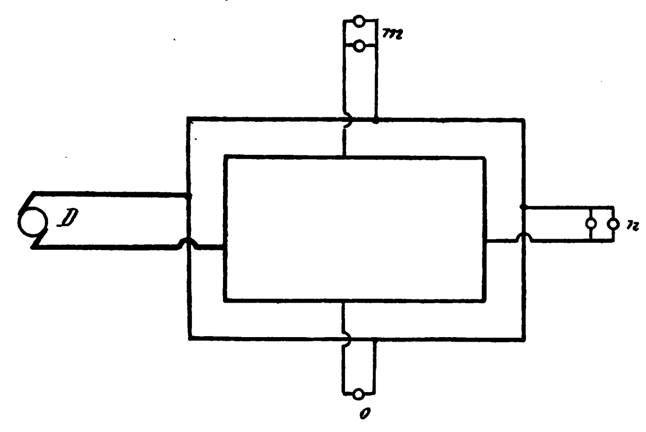


Fig. 328. Schleifenschaltung

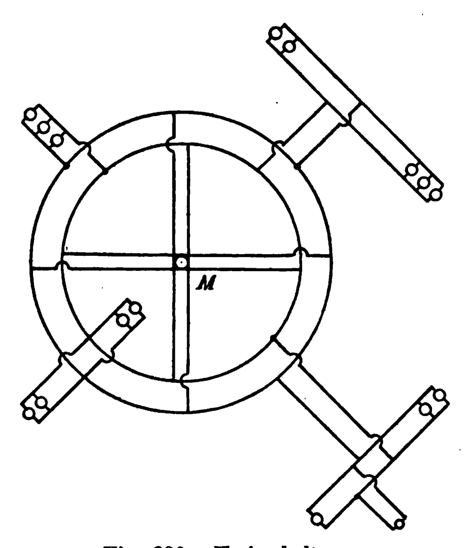


Fig. 329. Kreisschaltung.

beziehungsweise negativen Hauptleitungen, von welchen aus der Anschluss an die Hauptschienen des Schaltbrettes im Maschinenhause erfolgt. Die Verbindung der 6 Punkte E_1 u. s. w., beziehungsweise E_1 u. s. w. mit e_m, beziehungsweise e_o durch Hauptzuleitungen, gibt das

geschlossene Ringsystem oder Leitungsnetz. Die Stromabnahmestellen sind mit den Buchstaben e_1 bis e_6 und auf dem negativen Strang mit e'_1 bis e'_6 bezeichnet. Die Hauptzuleitungen, sowie die positiven, als auch die negativen, haben alle gleichen Widerstand; dasselbe gilt von den Stromkreisstrecken in der Ringleitung zwischen den positiven und negativen Anschlusspunkten. Die Buchstaben J bezeichnen die Verbrauchsströme, während die Theilströme in den einzelnen Zuleitungen

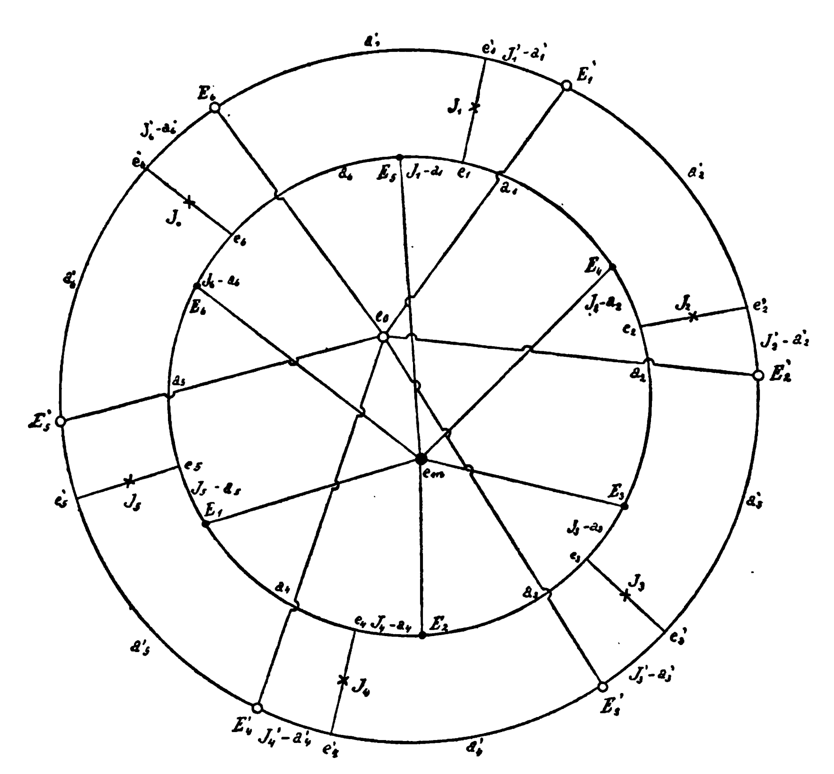


Fig. 330. Ringsystem.

sowohl im Ringe, als auch in den Hauptleitungen durch die Buchstaben a, beziehungsweise a' angegeben sind.

101. Das System der Centralstationen. Fig. 331 veranschaulicht die Stromvertheilung der Centralanlage von Siemens & Halske in Salzburg. Im Innern des Leitungsnetzes befindet sich eine Maschinengruppe, von welcher die Speiseleitungen zu den Ausgleichs- oder Vertheilungsleitungen nach den Vertheilungspunkten (Knotenpunkten) A, B, C und D geführt sind. In jeder Speiseleitung befindet

sich ein Regulierwiderstand *R*. Diese Regulierwiderstände haben den Zweck, Spannungsschwankungen bei Ausschaltung größerer Lampengruppen zu verhindern. Den Hauptkabeln sind Spannungsleitungen (Prüfdrähte) beigegeben, mittelst welcher die Spannungen an den Verbrauchstellen kontroliert werden. Um dieses Vertheilungssystem herum können wir uns ein zweites, drittes u. s. w. damit koncentrisches mit ebenso vielen Maschinengruppen gezogen denken, wie es z. B. bei den großen Edison-Anlagen der Fall ist.

102. Vertheilungssystem für große Centralstationen, Fig. 332, von Th. A. Edison.

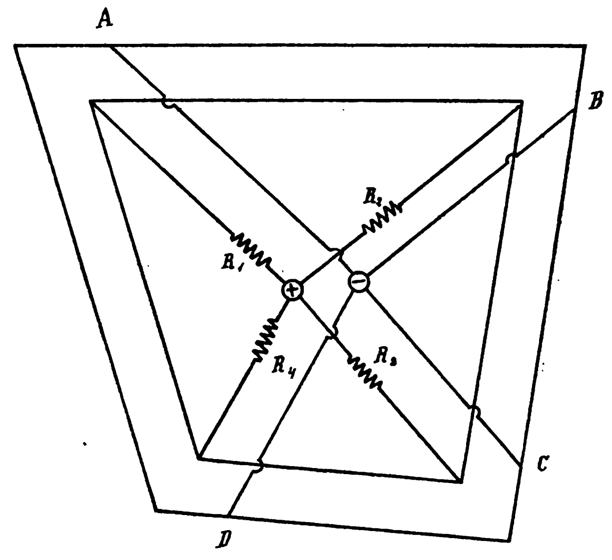


Fig. 331. System der Centralstationen.

Die Patentbeschreibung lautet: „Neuerungen in der Anordnung von Leitungen, um Elektricität von der Stromquelle an die Verwendungsstelle zu leiten". „Die Art und Weise, die Leitungen in einem Elektricitätszuführungssysteme zu legen, besteht darin, dass man diese Leitungen 1, 2, 3, ... in Sätzen koncentrisch zu einander und der allgemeinen Vertheilung der Häuserkreise folgend, anordnet, wobei jeder Satz mit der Stromquelle in der Centralstelle *C. S.* an einer größeren Anzahl von Punkten durch Verbindungsleitungen *a*, *b*, *c*, *a'*, *b'*, *c'*, Speiseleitungen oder Feeders, verbunden ist. Je weiter die Leitungen von der Stromquelle entfernt liegen, desto mehr nimmt ihr Querschnitt zu, um in allen Leitungen gleichen Widerstand zu haben." Bei

der richtigen Bemessung der Speiseleitungen erhalten somit die Lampen in den verschiedenen koncentrischen Sätzen die gleiche Spannung, während sonst Lampen verschiedener Spannung Anwendung finden müssten. Lampen verschieder Spannung erschweren die Bedienung der Centrale wesentlieh und werden sehr häufig verwechselt; kommen im letzten Falle Lampen niederer Spannung an Orte höherer Spannung, so leben sie nur kurze Zeit, während Lampen zu hoher Spannung an Orten zu niederer Spannung dunkel brennen.

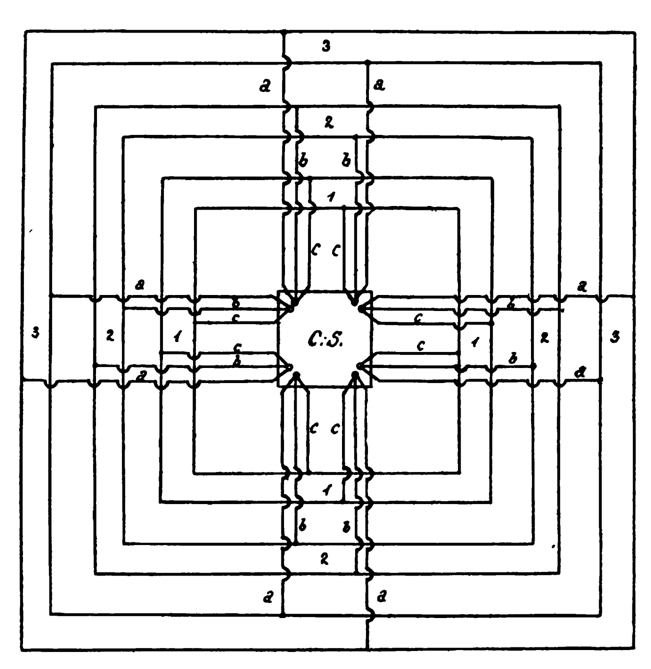


Fig. 332. System für große Centralstationen.

103. Vertheilung mittelst eines Sammlers. Wird der Strom einer Stromquelle im Sammler angesammelt und zu beliebiger Zeit an das Leitungsnetz abgegeben, so nennt man diese Stromvertheilung eine indirekte. Die Sammler sind bei den meisten Anlagen mit der Dynamo und dem Leitungsnetze nebeneinander geschaltet. Zur Zeit der geringen Stromabgabe arbeitet der Sammler allein, zur Zeit der größten Stromabgabe dagegen in Nebeneinanderschaltung mit der Dynamo gemeinsam.

104. Vertheilung mittelst Sammler-Unterstationen. Dieses Vertheilungssystem schließt sich an die Umsetzung des Stromes durch

Sammler (II. Th., 4. B.) an. In großen Centralstationen werden in dem eigentlichen Beleuchtungsgebiete sogenannte Sammler-Unterstationen errichtet; letztere bestehen in der Regel aus je zwei Sammlern. Der Betrieb solcher Unterstationen ist zumeist so eingerichtet, dass zur Zeit der Ladung eines Sammlers der zweite Strom in das Leitungsnetz abgibt. Die Zellen des Sammlers, welche geladen werden, sind, der hohen Spannung des Leitungsnetzes entsprechend, hintereinander geschaltet, von den Zellen des Sammlers dagegen, welche entladen werden, ist der Strom an beliebigen Zellen für verschiedene Leitungsnetze mit niedrigen Spannungen abgezweigt. Die Stromabgabe der einzelnen Abtheilungen von Zellen kann weiters entweder einzeln, in Hintereinander- oder Nebeneinanderschaltung erfolgen.

105. Vertheilung mittelst Gleichstromumsetzer. Aus dem Maschinenhause führen bei diesem Systeme, ähnlich wie bei dem zuletzt besprochenen, die Leitungen zu einer Gleichstromumsetzerstation oder zu mehreren Gleichstromumsetzerstationen. Der hochgespannte Strom tritt in die dünnen Wickelungen der Umsetzer ein, während die dicken Wickelungen den niedrig gespannten Strom in den Nutzstromkreis abgeben.

106. Vertheilung mittelst Wechselstromtransformatoren. Für die Beleuchtung auf sehr große Entfernungen hat bisher das Wechselstromtransformatorensystem mit nebeneinander geschalteten Apparaten, unbestritten die größte Bedeutung; dasselbe wurde praktisch schon bis auf Entfernungen von 175 *km* für Licht- und Kraftzwecke angewendet.

VIII. Kapitel.

Projektierung von Elektricitätswerken.

107. Einleitung. Zur Ausarbeitung eines möglichst genauen Projektes für eine Centrale, welche ein größeres Gebiet mit elektrischem Strom versorgen soll, ist es vorerst nothwendig, an Ort und Stelle die vorliegenden Verhältnisse zu studieren und sorgfältige Aufnahmen durchzuführen.

Nachfolgend sollen in Kürze die hauptsächlichsten Vorarbeiten und Erwägungen aufgezählt werden, welche bei einem solchen Projekte zu berücksichtigen sind.

108. Ermittelung des Strombedarfes. Zunächst ist durch Umfrage bei den in Betracht kommenden Parteien der voraussichtlich nothwendige Strombedarf festzustellen. Dies geschieht am besten unter Verwendung eigener Anmeldebögen, in welche die gewünschte Zahl und Stärke der Glühlampen, Bogenlampen, Elektromotoren, Heizkörper und dergleichen eingetragen wird. Um aus diesen Anmeldungen gleichzeitig schließen zu können, welche Ausnützung des Werkes zu erwarten ist, sind in den Bögen getrennte Rubriken für Wohn-, Geschäfts-, Arbeits-, Gasthaus-Räume u. s. w. vorgesehen. Nach den praktischen Erfahrungen kann man dann für Städte mittlerer Größe per angeschlossene Glühlampe und Jahr als durchschnittliche Benützungsdauer nachstehende Stundenzahlen ansetzen. Für:

Kellerräume, Bodenräume, Stallungen	etwa	300	Brennstunden,
Werkstätten und Kanzleien	„	400	„ ,
Wohn- und Nebenräume	„	500	„ ;
Geschäftsräume	„	750	„ ,
Gasthaus- und Kaffeehausräume	„	1200	„ .

Fehlen über die Verwendungsart der Lampen genauere Angaben, so kann man bei der Rentabilitätsberechnung im allgemeinen per angeschlossene Glühlampe und Jahr eine durchschnittliche Benützungsdauer von 500 Brennstunden annehmen. So ergab sich laut der Jahresberichte bestehender Elektricitätswerke für

Breslau[1]) 1898/1899 für jedes angeschlossene Hektowatt eine mittlere Benützungsdauer von 521 Stunden für ein Jahr.

Düsseldorf[2]) 1899/1900 für jede angeschlossene Lampe eine mittlere Benützungsdauer von 475 Stunden, 31 Minuten für ein Jahr.

Sind in einem Orte viele Luxuslampen vorauszusetzen (z. B. für Salons, Unterhaltungssäle und dergl.), so wird die durchschnittliche Benützungsdauer per angeschlossene Lampe natürlich entsprechend geringer anzunehmen sein, da solche Lampen nur bei besonderen Anlässen benützt werden.

Für die Beleuchtung der öffentlichen Straßen, Wege und Plätze ist die Zahl und Stärke der Lampen den örtlichen Verhältnissen entsprechend festzusetzen. Dabei ist zwischen halbnächtiger und ganznächtiger Beleuchtung zu unterscheiden. Die halbnächtigen Lampen werden nur in der Zeit des größten öffentlichen Verkehrs, z. B. vom Beginn der Dämmerung bis 11 Uhr Nachts benützt, die ganznächtigen bleiben die ganze Nacht, also vom Beginn der Dämmerung bis zum Sonnenaufgang eingeschaltet. Letztere Lampen werden besonders bei

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1900, Heft 15.

[2]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1900, Heft 47.

Straßenkreuzungen, Brücken und dergl. wichtigen Punkten angeordnet, während die halbnächtigen zumeist nur als Zwischenlampen zur Lichtverstärkung innerhalb weniger Stunden dienen sollen. Aus der nachstehenden Zusammenstellung kann man die, der verschiedenen Brennzeit entsprechende Benützungsdauer der Lampen für ein Jahr ohneweiteres entnehmen. (Siehe S. 260, 261.)

109. Wahl der Betriebskraft. Nach Feststellung des Strombedarfes wird auf Grund der vorliegenden Verhältnisse und mit Bedacht darauf, ob die Beschaffung der örtlich zur Verfügung stehenden Betriebsmittel (Wasser, Kohle, Gas oder dergl.) jederzeit eine gesicherte ist, ferner unter Berücksichtigung der Rentabilität des Werkes und der zu erwartenden günstigsten Betriebsverhältnisse, die Wahl der Betriebskraft vorgenommen.

Falls eine Wasserkraft vorhanden ist, wird natürlich diese zuerst in Betracht gezogen werden, wobei zu untersuchen ist, ob dieselbe auch zur Zeit geringen Wasserzuflusses eine genügende Wassermenge aufweist, beziehungsweise, ob bei Hochwasser, trotz des Rückstaues vom Unterwasser, noch genügend Gefälle vorhanden ist, um mit Sicherheit den Bedürfnissen des Werkes entsprechen zu können. Ferner ist zu erwägen, ob die Verzinsung, Amortisation und Erhaltung der mitunter sehr kostspieligen Wasserbauten und elektrischen Strom-Hauptleitungen, sowie die Verluste in den letzteren (bei großer Entfernung des Werkes vom Konsumgebiete) durch die anderseits sich ergebenden geringen Betriebskosten aufgewogen werden.

Von den Wassermotoren sind die Turbinen am meisten zu empfehlen, nachdem dieselben in ihren verschiedenartigen Ausführungen eine große Anpassungsfähigkeit sowohl in Bezug auf die Wasserverhältnisse als auch in Anbetracht des Abtriebes aufweisen, hohe Nutzeffecte (75 bis 80%) besitzen, für hohe Tourenzahlen ausführbar sind und mit empfindlichen Regulatoren versehen werden können.

Wo Wasserkräfte nicht zur Verfügung stehen, werden die Centralanlagen haupsächlich mit Dampfbetrieb eingerichtet. Bei dieser Betriebsart ist Rücksicht zu nehmen auf den Preis und die Zuführung des Heizmaterials, die Beschaffung des Kesselspeise- und des Kondensationswassers und die Härte des Speisewassers. Dampfcentralen können nahe an das Konsumgebiet gerückt werden, wodurch die Strom-Hauptleitungen möglichst gekürzt ausfallen. Als Heizmaterial wird zumeist Kohle benützt. Durch Anwendung von rauchverzehrenden Feuerungen kann die Rauchbelästigung möglichst vermieden und gleichzeitig eine Kohlenersparnis durch die bessere Ausnützung derselben erzielt werden. Für das zu wählende Kesselsystem ist der Raumbedarf, die Güte des Heiz-

Brennkalender für Mitteleuropa.

Tage im Monat	Brennzeit Abends			Brennzeit Morgens			Zahl der Tage und Stunden	Summe der Brennstunden vom Beginn der Dämmerung bis Sonnenaufgang	11 Uhr Nachts	12 Uhr Nachts
		Uhr	Min.		Uhr	Min.				
Jänner										
vom 1. bis 10.	von	4	30	bis	7	30	10 à 15 Std.	150	65	75
„ 11. „ 20.	„	4	45	„	7	—	10 à $14^1/_4$ „	142·5	62·5	72·5
„ 21. „ 31.	„	5	—	„	6	30	11 à $13^1/_2$ „	148·5	66	77
Februar										
vom 1. bis 10.	von	5	15	bis	6	30	10 à $13^1/_4$ Std.	132·5	57·5	67·5
„ 11. „ 20.	„	5	45	„	6	—	10 à $12^1/_4$ „	122·5	52·5	62·5
„ 21. „ 28./29.	„	6	—	„	5	30	8/9 à $11^1/_2$ „	92/103·5	40/45	48/54
März										
vom 1. bis 10.	von	6	15	bis	5	30	10 à $11^1/_4$ Std.	112·5	47·5	57·5
„ 11. „ 20	„	6	30	„	5	—	10 à $10^1/_2$ „	105	45	55
„ 21. „ 31.	„	6	45	„	4	30	11 à $9^3/_4$ „	107·25	46·75	57·75
April										
vom 1. bis 10.	von	7	—	bis	4	30	10 à $9^1/_2$ Std.	95	40	50
„ 11. „ 20.	„	7	15	„	4	–	10 à $8^3/_4$ „	87·5	37·5	47·5
„ 21. „ 30.	„	7	30	„	4	—	10 „ $8^1/_2$ „	85	35	45
Mai										
vom 1. bis 10.	von	7	45	bis	3	30	10 à $7^3/_4$ Std.	77·5	32·5	42·5
„ 11. „ 20.	„	8	15	„	3	—	10 à $6^3/_4$ „	67·5	27·5	37·5
„ 21. „ 31.	„	8	30	„	3	—	11 à $6^1/_2$ „	71·5	27·5	38·5
Juni										
vom 1. bis 10.	von	9	—	bis	2	30	10 à $5^1/_2$ Std.	55	20	30
„ 11. „ 20.	„	9	—	„	2	—	10 à 5 „	50	20	30
„ 21. „ 30.	„	9	—	„	2	—	10 à 5 „	50	20	30

Tage im Monat	Brennzeit Abends			Brennzeit Morgens			Zahl der Tage und Stunden	Summe der Brennstunden vom Beginn der Dämmerung bis Sonnen-aufgang	11 Uhr Nachts	12 Uhr Nachts
		Uhr	Min.		Uhr	Min.				
Juli										
vom 1. bis 10.	von	9	—	bis	2	—	10 à 5 Std.	50	20	30
„ 11. „ 20.	„	9	—	„	2	—	10 à 5 „	50	20	30
„ 21. „ 31.	„	8	30	„	2	30	11 à 6 „	66	27·5	38·5
August										
vom 1. bis 10.	von	8	15	bis	3	—	10 à $6\frac{3}{4}$ Std.	67·5	27·5	37·5
„ 11. „ 20.	„	8	—	„	3	30	10 à $7\frac{1}{2}$ „	75	30	40
„ 21. „ 31.	„	7	30	„	4	—	11 à $8\frac{1}{2}$ „	93·5	38·5	49·5
September										
vom 1. bis 10.	von	7	15	bis	4	—	10 à $8\frac{3}{4}$ Std.	87·5	37·5	47·5
„ 11. „ 20.	„	7	—	„	4	30	10 à $9\frac{1}{2}$ „	95	40	50
„ 21. „ 30.	„	6	30	„	4	30	10 à 10 „	100	45	55
October										
vom 1. bis 10.	von	6	15	bis	5	—	10 à $10\frac{3}{4}$ Std.	107·5	47·5	57·5
„ 11. „ 20.	„	6	—	„	5	—	10 à 11 „	110	50	60
„ 21. „ 31.	„	5	30	„	5	30	11 à 12 „	132	60·5	71·5
November										
vom 1. bis 10.	von	5	—	bis	6	—	10 à 13 Std.	130	60	70
„ 11. „ 20.	„	4	45	„	6	—	10 à $13\frac{1}{4}$ „	132·5	62·5	72·5
„ 21. „ 30.	„	4	45	„	6	30	10 à $13\frac{3}{4}$ „	137·5	62·5	72·5
December										
vom 1. bis 10.	von	4	30	bis	7	—	10 à $14\frac{1}{2}$ Std.	145	65	75
„ 11. „ 20.	„	4	30	„	7	30	10 à 15 „	150	65	75
„ 21. „ 31.	„	4	30	„	7	30	11 à 15 „	165	71·5	82·5
							Jahressumme	3645·75	1573·25	1938·25
	beziehungsweise im Schaltjahr							3657·25	1578·25	1944·25

materials und Speisewassers, sowie die Art der zu erwartenden Dampfentnahme maßgebend. Bei stetig schwankenden Betrieben sind hauptsächlich Flammrohr- und kombinierte Flammrohr-Rauchrohr-Kessel, bei Betrieben mit plötzlichem Dampfbedarf, Wasserrohrkessel zu berücksichtigen. Erstere zwei Arten liefern trockenen Dampf, benöthigen aber gutes Brennmaterial (da die Rohre sich sonst mit Flugasche verlegen) und beanspruchen große Bauflächen. Die Wasserrohrkessel liefern häufig nassen Dampf, benöthigen reines Wasser (da aus den Röhren der Kesselstein schwer zu entfernen ist), erfordern jedoch nur geringe Bauflächen und liefern sehr rasch Dampf. Zur Erzielung trockenen Dampfes und gleichzeitig, um die Hitze der Rauchgase zu verwerten, werden häufig Dampfüberhitzer in die Rauchzüge eingebaut. Bei schlechtem Speisewasser sind Wasserreiniger vorzusehen.

Der Dampfüberdruck beträgt bei den neueren Centralen zumeist 10—12 *at*, wodurch Mehrfach-Expansionsmaschinen mit verhältnismäßig kleinen Kolbendurchmessern zur Verwendung gelangen können. Die Dampfmaschinen werden in liegender oder stehender Anordnung ausgeführt. Für erstere spricht die bequeme Zugänglichkeit, für letztere der geringe Raumbedarf. Die modernen Maschinen besitzen äußerst empfindliche Reguliervorrichtungen, haben hohe Tourenzahlen und hohe Nutzeffekte (70—87%). Sie arbeiten mit Auspuff oder bei genügendem Wasservorrath mit Kondensation.

Für kleine Centralen oder auch als Dampfreserve bei Wasserkraftanlagen werden mit Vortheil stabile Dampflokomobilen benützt.

Mindere Bedeutung haben für Centralen die Gasmotoren erlangt. Zum Betriebe derselben dient Leuchtgas, Kraftgas oder Wassergas.

Zum Antriebe der Stromerzeuger werden die Antriebsmaschinen mit diesen womöglich direkt gekuppelt. Um dabei für die Stromerzeuger keine allzugroßen Dimensionen zu erhalten, sind die Tourenzahlen möglichst hoch zu wählen.

Indirekte Betriebe bringen Kraftverluste mit sich, beanspruchen eine besondere Aufmerksamkeit für die Zwischenglieder und mehr Raum für die Gesammtanordnung.

Um einen gleichmäßigen Gang der Stromerzeuger zu erzielen, sind in allen Fällen genügende Schwungmassen vorzusehen.

110. Größenbestimmung für die Stromerzeuger und Stromsammler. Von den an ein Elektricitätswerk angeschlossenen Stromverbrauchsgegenständen werden erfahrungsgemäß nie alle gleichzeitig in Benützung genommen, weshalb auch die Stromerzeuger nur für einen

Theil des gesammten Anschlusswertes zu dimensionieren sind. Nach den Jahresberichten von bestehenden Werten ergab sich für

Breslau [1]) 1898/1899 eine größte Beanspruchung von 47·6% der angeschlossenen Lampen.

Dresden [2]) 1898 eine größte Beanspruchung von 47·77% der angeschlossenen Lampen.

Mit Bedacht auf die spätere Erweiterung der angemeldeten Anlagen und das Hinzukommen von stets zu erwartenden Neuanlagen, ferner unter Berücksichtigung, dass kleine, nur zeitweise laufende Motoren auch zur Zeit des Hauptlichtbetriebes bisweilen Strom erhalten sollen, ist es angezeigt, mit einer max. Belastung von 60% der Anmeldungen zu rechnen.

Liegen bestimmte Verpflichtungen zum Dauerbetriebe größerer Motoren während des Hauptlichtbetriebes vor, oder ist der Strombedarf für Kraft überhaupt gegenüber dem von Licht überwiegend, so wird natürlich auf dieser Grundlage die Größenbestimmung der Stromerzeuger vorgenommen werden.

Fehlen bei den Glühlampenanmeldungen die näheren Angaben über die gewünschte Kerzenstärke, so kann man nach den praktischen Erfahrungen per angemeldete Glühlampe durchschnittlich 13—14 *NK* ansetzen.

Ist nach den vorstehenden Angaben der größte gleichzeitige Strombedarf berechnet, so ist zu demselben noch ein wirtschaftlich zulässiger Procentsatz für die Verluste in den Leitungen und in den eventuellen Unterstationen (mit Stromsammlern oder Umformern) zuzuschlagen. Für den schließlich sich ergebenden, wirklichen Bedarf hat man sich nun, je nach den vorliegenden Verhältnissen, für die Aufstellung nur eines oder mehrerer Stromerzeuger zu entscheiden. Die Theilung ist in jenen Fällen vortheilhaft, bei denen während einiger Stunden der Maschinenbetrieb für geringe Stromabgabe nothwendig erscheint. Andererseits bedingt die Verwendung mehrerer kleiner Aggregate einen größeren Aufstellungsraum, höhere Anschaffungskosten, und während des Betriebes größere Verluste sowie mehr Bedienung als ein großes Aggregat.

Außer den für den Bedarf nothwendigen Stromerzeugern sind noch entsprechend große Reserven vorzusehen, um im Falle nothwendiger Reparaturs-, Reinigungs- und dergl. Arbeiten jegliche Betriebsstörung zu vermeiden.

Sollen Stromsammler zur Aufstellung gelangen, so sind dieselben für den Strombedarf in der Zeit des Maschinenstillstandes, ferner zur

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1900, Heft 15.

[2]) Elektrotechnische Zeitschrift, 1900, Heft 11.

Unterstützung der Maschinen während kurz andauernden Stromüberlastungen, und schließlich zur Lieferung des Ausgleichsstromes bei Mehrleitersystemen zu berechnen. Um eine spätere Vergrößerung leicht zu ermöglichen, werden häufig größere Gefäße genommen, als der gewählten Type entsprechen. Dieselben können bei eintretendem Bedarf ohne Betriebsstörung durch weiteres Plattenmaterial ausgebaut werden.

111. Eigenschaften der Stromsysteme. Gleichstrom ist für Glühlicht, Bogenlicht und Motorenbetrieb gleich gut geeignet und besitzt den Vortheil, dass er die Aufspeicherung von elektrischer Energie in Stromsammlern ermöglicht. Durch letztere Eigenschaft wird einerseits erreicht, dass die Betriebseinrichtungen auch in der Zeit mäßigen Strombedarfs, durch Abgabe des verfügbaren Stromes an Sammlern wirtschaftlich ausgenützt werden, während sie andererseits in der Zeit großer Belastung, bezw. bei kurz andauernden Überlastungen von den Sammlern unterstützt und bei geringem Bedarf durch dieselben vollständig entlastet werden können. Auf diese Art gestaltet sich der Betrieb sehr vortheilhaft und sind die Aggregate nur für die Normalbelastung zu dimensionieren. Des Nutzeffekt der Sammler beträgt auf Wattstunden bezogen rund 75%.

Die Gleichstromgeneratoren erregen sich von selbst und sind sehr leicht parallel zu schalten. Die Motoren laufen mit Belastung an und erfordern bloß einfache Vorrichtungen zur Tourenveränderung. Die Nebenschlussmotoren werden durch Nebenschluss- oder Hauptstromwiderstände reguliert, wobei die erstere Regulierungsart, infolge des ziemlich gleichbleibenden Wirkungsgrades, die vortheilhaftere ist. Bei gleichbleibender Spannung behalten diese Motoren für verschiedene Belastungen selbstthätig nahezu die gleiche Tourenzahl. Bei Hauptstrommotoren ändert sich dieselbe, dagegen gestatten dieselben größere Überlastungen.

Zur Energieübertragung auf größere Entfernungen ist jedoch die Verwendbarkeit von Gleichstrom eng begrenzt, nachdem die Erzeugung hoher Spannungen an den Schwierigkeiten bei der Herstellung der Dynamokollektoren scheitert und die Umwandlung hoher Gleichstromspannungen auf die Gebrauchsspannung nur vermittelst rotierender Transformatoren von verhältnismäßig geringem Nutzeffekt oder mit sehr theueren und schwer zu isolierenden Sammlerbatterien zu erreichen ist. Bei niederen Spannungen aber werden die Stromstärken hoch und die Fernleitungen daher kostspielig. Ferner macht sich beim Betriebe kleiner Motoren die nothwendige Beaufsichtigung der Kollektoren und Bürsten unangenehm bemerkbar.

Die Erzeugung hoher Spannungen ist für Wechselstrom sehr erleichtert, da bei den Generatoren anstatt der Kollektoren nur einfache Schleifringe oder fest angebrachte Klemmen nothwendig sind und die Wickelungen hoher Spannung ebenfalls ruhend angeordnet, daher sehr sicher isoliert werden können. Bei vielen Ausführungen waren auch die mit niedrig gespanntem Gleichstrom gespeisten Magnetwicklungen der Generatoren fest angebracht und es rotiert nur der eiserne Magnetstern. Ein weiterer Vortheil des Wechselstroms ist, dass die Umwandlung desselben durch ruhende Transformatoren mit hohem Wirkungsgrade (94 bis 98%) ermöglicht ist, bei welchen jede Wartung entfällt.

Infolge der erreichbaren hohen Spannungen erhält man nur dünne Fernleitungen, welche keine allzuhohen Spesen verursachen und daher auch große Entfernungen zwischen der Centrale und den Konsumgebieten zulassen. So beträgt z. B. die Länge einer Leitung von Telluride[1]) (V. St. Amerika) bei 40.000 Volt, 56 Kilometer. Auf diese Weise ist es möglich, entlegene Wasserkräfte oder die für einen weiten Transport nicht geeigneten minderwertigen Kohlen eines Bergwerkes direkt an der Fundstelle zu verwerten.

Große Motoren können direkt mit hoher Spannung betrieben werden; kleine Motoren mit Kurzschlussanker benöthigen keine Bürsten und beanspruchen daher nur eine äußerst geringe Bedienung. Die Einzelschaltung von Bogenlampen ist auch bei den üblichen Beleuchtungsspannungen (110—220 Volt) unter Verwendung von kleinen Transformatoren ökonomisch durchführbar. An feuchten Orten sind die elektrolytischen Wirkungen von Wechselstrom geringer als bei Gleichstrom.

Diesen Vortheilen gegenüber stehen folgende Nachtheile. Bei den Bogenlampen geht, auch bei Verwendung von geeigneten Reflektoren, ein Theil des nach oben strahlenden Lichtes verloren. Während für die Generatoren, Motoren, Transformatoren und Leitungen die Wahl einer möglichst niederen Periodenzahl zur Vermeidung hoher Verluste infolge Induktion, Ummagnetisierungsarbeit und Wirbelströme empfehlenswert erscheint, darf für Beleuchtungszwecke eine bestimmte Periodenzahl nicht unterschritten werden. Nach Versuchen erhielt man für Werkstätten und Außenbeleuchtung mindestens 25 Perioden, für Bureau's mindestens 30 Perioden und für Bodenlampen noch höhere Zahlen, um das Flimmern des Lichtes hintan zu halten. Als gutes Mittel ergibt sich für Centralen zu Beleuchtungs- und Kraftübertragungszwecken die Zahl von 50 Perioden. Die Verluste durch Induktion und Ummagnetisierung nehmen mit der steigenden Periodenzahl im einfachen Verhältnis. die Wirbelstromverluste im quadratischen Verhältnis zu. Störend

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1899, Heft 6 und 8.

wirken ferner die Induktionserscheinungen, welche von Wechselstrom führenden Starkstromleitern in naheliegenden Leitungen anderer Bestimmung z. B. Telegraphen- und Telephonleitungen Störungen hervorrufen und daher oft eine Verlegung der letzteren veranlassen.

Für Centralen mit sehr schwankendem Konsum ist es vom Nachtheil, dass auch in der Zeit geringen Bedarfs der Maschinenbetrieb aufrecht erhalten werden muss und in den Transformatoren hohe Leerlaufsverluste auftreten. Zu den Generatoren sind besondere Gleichstrommaschinen zur Lieferuug des Erregerstromes nothwendig. Die vom Wechselstrom durchflossenen Wickelungen rufen starke Vibrationen und infolgedessen bisweilen recht unangenehme Geräusche hervor.

Während Gleichstrom- und mehrphasige Wechselstrommotoren ohneweiteres auch mit Belastung angehen, ist ferner für einphasige Motoren noch die Zuhilfenahme besonderer Anlassvorrichtungen nothwendig; auch bleiben diese Motoren bei Überlastungen leicht stehen.

Um die Vortheile von Gleich- und Wechselstrom zu vereinigen, werden sehr häufig Anlagen gemischten Systems zur Ausführung gebracht.

112. Wahl des Stromvertheilungs-Systems. Von den verschiedenen Stromvertheilungssystemen S. 233, sind als gebräuchlich besonders zu berücksichtigen: für Gleichstrom das Zweileiter- und die Mehrleitersysteme (insbesonders das Dreileiter- und das Fünfleitersystem), für Wechselstrom das Zweileitersystem für einphasigen Strom und die Mehrleitersysteme für verkettete Ströme (insbesonders Dreiphasenstrom in Dreiecks- und in Sternschaltung).

113. Wahl der Spannungsverhältnisse. Für die an den Verbrauchsstellen zu wählende Spannung ist die überwiegende Art der Stromverwendung (für Beleuchtung, Kraftabgabe oder dergl.) und gleichzeitig die günstigste Ausnützung der Vertheilungsleitungen maßgebend. Nachdem es durch die Fortschritte der Glühlampenerzeugung gelungen ist, gute Glühlampen bis 250 Volt zu erzeugen, werden derzeit zumeist Spannungen von 220—250 Volt berücksichtigt. Letztere eignen sich auch gut zum Betriebe kleinerer Motoren und hintereinander geschalteter Bogenlampen.

Bei größeren Motoren sind Spannungen von 440—500 Volt gebräuchlich, welche mit obigen Beleuchtungsspannungen, bei Gleichstrom durch Verwendung des Dreileitersystems, bei Wechselstrom durch Aufstellung besonderer, untertheilter Transformatoren, leicht in Einklang gebracht werden können.

Die Spannung in der Erzeugungsstätte richtet sich hauptsächlich nach der Entfernung, auf welche die elektrische Energie übertragen werden soll, um bei einem angemessenen Verluste noch wirtschaftlich zulässige Speiseleitungen zu erhalten. Nachdem für eine bestimmte Energie mit steigender Spannung die Stromstärke und damit der Leitungsquerschnitt verringert wird, so ist besonders bei großen Entfernungen das Bedürfnis nach möglichst hohen Spannungen vorhanden.

Gleichstrom ist für die Erzeugung und Verwertung hoher Spannungen aus den früher angegebenen Gründen im allgemeinen nicht geeignet. Allerdings werden nach dem System Thury durch Hintereinanderschaltung von Serienmaschinen Spannungen von mehreren Tausend Volt erreicht, doch zeigen sich bei der Stromübertragung mancherlei Hindernisse. Bei diesem System werden nämlich durch eine einzige Drahtschleife sämmtliche Verbrauchsstationen unter Zuhilfenahme sinnreicher Apparate ebenfalls in Serie geschaltet und mit immer gleich bleibender Stromstärke gespeist. Bei einem Leitungsbruch wird daher stets der Gesammtbetrieb gestört und ferner bleibt infolge der gleichen Stromstärke der Leitungsverlust jederzeit derselbe, gleichgiltig, ob eine große oder geringe Belastung des Werkes stattfindet.

Hohe Wechselstromspannungen sind leicht direkt oder durch Transformierung zu erreichen und ebenso leicht auf die Gebrauchsspannung umzuwandeln. Für 10.000 und mehr Volt sind schon wiederholt Wechselstromgeneratoren gebaut und für Fernleitungen noch bedeutend höhere, transformierte Spannungen verwendet worden. So wird z. B. bei der bereits erwähnten Anlage von Telluride (V. St. Amerika) eine Leitungsspannung von 40.000 Volt ausgenützt. [1])

Aus den bei dieser Anlage angestellten Versuchen mit Spannungen bis zu 133.000 Volt, lassen sich folgende Schlüsse ziehen. Es gibt augenscheinlich eine kritische Spannung, von welcher die Verluste zwischen den Drähten plötzlich zu wachsen anfangen und zwar ist diese Erscheinung nicht auf die Oberflächenverluste der Isolatoren, sondern auf die Entladungen zwischen den Drähten zurückzuführen. Dabei scheinen sich die Verluste bei unreiner Luft und bei Niederschlägen zu steigern. Der kritische Punkt dürfte mit 50.000—60.000 Volt erreicht sein. Während schlechten Wetters und unreiner Luft brachte die Spannung von 50.000 Volt die Dräthe zum Leuchten und konnte man das der Hochspannung eigenthümliche Zischen vernehmen. Bis zu 40.000 Volt ist jedoch anzunehmen, dass die Leistungsverluste bei reiner Luft, trotz heftiger Niederschläge in normaler Weise auftreten.

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1899, Heft 6 u. 8.

Gegenüber den Vortheilen hoher Spannungen ist zu berücksichtigen, dass die Isolierung der Betriebsmittel eine außerordentliche Vorsicht beansprucht und dass dementsprechend die Anschaffungskosten derselben entsprechend erhöht werden. Mit steigender Spannung steigert sich die Gefahr von Stromverlusten und die Unsicherheit des Betriebes. Durch die nothwendige Transformierung sind Verluste bedingt.

114. Anlegung des Leitungsnetzes. Um bei ausgedehnten Stromvertheilungsgebieten für die verschiedenen Stromverbrauchstellen möglichst gleichartige Spannungsverhältnisse zu erhalten, werden in die eigentlichen Vertheilungsleitungen nur geringe Verluste (bei Normalbelastung etwa 1·5—2%) gelegt und die Leitungen möglichst maschenartig geschlossen angeordnet. Die Stromzuführung zu diesem so gebildeten Netz erfolgt dann an mehreren Speisepunkten mittelst eigener Speiseleitungen, welche für größere Verluste (bei Normalbelastung etwa 8—10%) berechnet werden. Bei der Austheilung der Speisepunkte ist auf die vortheilhafteste Ausnützung der Vertheilungsleitungen, die Stellen von besonders großer und stark schwankender Belastung und die Bestimmung der nach Wirtschaftlichkeit und Ausführbarkeit günstigsten Querschnitte der Speiseleitungen Rücksicht zu nehmen.

Bei Gleichstromanlagen erhält jeder Speisepunkt von der Centrale beziehungsweise Unterstation aus seine eigene Leitung und zwar von derartiger Dimensionierung, dass normal in allen Speisepunkten die gleiche Spannung herrscht.

Für Wechselstrom-Hochspannungsanlagen werden die Speisepunkte mit Gruppen-Transformatoren versehen, welche in größerer Zahl von einer Hochspannungsleitung gespeist werden können, nachdem in geschlossenen Versorgungsgebieten die Verluste in den Hochspannungsleitungen zwischen den einzelnen Transformatoren keine bemerkenswerten Spannungsunterschiede veranlassen.

Die früher gebräuchliche Anlegung von Hochspannungsnetzen und Aufstellung von Einzel-Transformatoren für die einzelnen Abnehmer hatte große Leerlaufsverluste in den Transformatoren zur Folge. Durch die jetzt übliche Verwendung von Gruppen-Transformatoren werden infolge Verwertung größerer Typen und besserer Belastung derselben hohe Nutzeffekte erzielt und ist ferner die Möglichkeit geboten, zur Zeit geringerer Belastung die Leerlaufsverluste durch Abschaltung einzelner Transformatoren zu vermindern. Letzteres Vorgehen ist bei der netzartigen Anordnung der Niederspannungsleitungen sehr leicht durchführbar.

Die Speisepunkte werden gewöhnlich durch verstärkte Vertheilungsleitungen mit einander verbunden, um eine gegenseitige Unterstützung derselben bei ungewöhnlicher Be- beziehungsweise Entlastung eines Speisepunktes zu erzielen und damit einen Ausgleich der Belastungs- und Spannungsverhältnisse zu schaffen. Man bezeichnet diese Leitungen daher als Ausgleichsleitungen. Bei ausgedehnten Leitungsnetzen, welche in einem Gleichstrom-Mehrleitersystem ausgeführt sind, ergibt sich bisweilen auch die Nothwendigkeit, durch besondere Hilfsmittel die Spannungsverhältnisse der Mehrleitergruppen gegeneinander auszugleichen. Eine bewährte Anordnung besteht darin, dass man gekuppelte Maschinen (Ausgleichsmaschinen) verwendet, welche wie Motoren an die Gruppen geschaltet werden. Jener Anker, welcher die höhere Spannung erhält, wird das Bestreben zeigen, schneller zu laufen, wie jener mit niederer Spannung. Infolgedessen wird letzterer ebenfalls zu einer höheren Tourenzahl veranlasst, wirkt dann als Dynamoanker und erhöht die Spannung seiner Gruppe.

Liegt ein Speisepunkt mit schwankender Belastung so nahe bei der Centrale, dass bei dem mindest zulässigen Querschnitt seine Spannung die der anderen bedeutend überwiegen möchte, so müssen eigene regulierbare Zusatz-Widerstände vor die Speiseleitung geschaltet werden.

Liegt dagegen ein Speisepunkt so weit von dem allgemeinen Versorgungsgsbiete entfernt, dass die Ausführung von Ausgleichsleitungen zwecklos wäre und ferner die Speiseleitung bei dem sonst zugelassenen Spannungsabfall zu stark dimensioniert werden müsste, so hilft man sich durch Zuschaltung von Zusatzspannung. Diese kann bei Gleichstrom durch Zusatz-Elemente oder -Maschinen und bei Wechselstrom durch Zusatz-Transformatoren mit verstellbaren Wickelungen geliefert werden.

Zur Beurtheilung und Regulierung der Gebrauchsspannung im Vertheilungsnetze werden aus der Mitte des geschlossenen Hauptkonsumgebietes Kontrolleitungen zu den Spannungszeigern der Centrale zurückgeführt. Von jedem Speisepunkte gesonderte Leitungen zu führen, ist bei der oben geschilderten Ausführung des Netzes unnöthig. Eine Ausnahme machen nur jene Speisepunkte, welche vorstehend beschriebene Zusatzmittel zur Spannungsregulierung benöthigen.

IX. Kapitel.

Berechnung der Leitungen.

115. Allgemeines. Die Bestimmung der Leitungsquerschnitte kann nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Maßgebend sind:

die Wirtschaftlichkeit der Anlage, der praktisch zulässige Spannungsabfall und Energieverlust, die Temperaturerhöhung, die Feuersicherheit und die Festigkeit des Leitungsmateriales.

Die Bemessung der Leitungen vom wirtschaftlichen Standpunkte ist von Carl Hochenegg in seinem Werke „Anordnung und Bemessung elektrischer Leitungen“ gelöst worden. Diese Art der Leitungsberechnung kommt hauptsächlich bei sehr langen Fernleitungen und bei Kabelnetzen in Betracht. Bei geschlossenen Freileitungsnetzen jedoch, genügen für die Berechnung zumeist die in der Praxis gesammelten Erfahrungen über die Zulässigkeit des Spannungsabfalles und Energieverlustes (§ 114). Die äußersten Grenzen für die Dimensionierung der Leitungen sind durch die zulässige Beanspruchung des Materiales in Ampère (Sicherheitsvorschriften, II. Th. 3. B.), die mechanische Widerstandsfähigkeit und die Eignung zur Montierung festgelegt. Bisweilen ist es vortheilhaft, einen nach der Rechnung erhaltenen großen Querschnitt auf mehrere Leiter zu vertheilen. Schwächere Leitungen lassen sich leichter montieren und besitzen eine verhältnismäßig größere Abkühlungs-Oberfläche als starke Leitungen.

Bei der Berechnung der Leitungen setzt man die Länge (Hin- und Rückleitung) derselben, sowie die Stromstärke als bekannt voraus. Während man die Leitungslänge direkt abmisst oder indirekt sorgfältigst ausgeführten Leitungsplänen entnimmt, bestimmt man die Stromstärke aus der Anzahl der eingeschalteten Stromabnehmer (Glüh-, Bogenlampen, Elektromotoren u. s. w.). Die Stromstärken einiger Glühlampen sind auf den Seiten 77 u. 78 angegeben; dieselben verhalten sich annähernd proportional mit der Anzahl der Normalkerzen. Eine Glühlampe zu 16 *NK* verbraucht etwa 0·5, eine solche zu 30 *NK* rund 1 Ampère. Da bei den meisten Anlagen die Stromabnahme mit der Zeitdauer des Bestandes der Anlage wächst, empfiehlt es sich, für die Glühlampen zu 16 *NK* anstatt 0·5 etwa 0·8 Ampère einzusetzen. Bogenlampen führt man in der Regel mit 10 Ampère in die Rechnung ein. Sind die Lampen sämmtlich hintereinander geschaltet, dann ist die Stromstärke des Leitungsnetzes der Stromstärke der einzelnen Lampen gleich; bei nebeneinander geschalteten Lampen ergibt die Summe der Stromstärken sämmtlicher Lampen die Stromstärke des Leitungsnetzes. Mit der Spannung verhält es sich umgekehrt. Bei hintereinander geschalteten Lampen muss die Spannung an den Klemmen der Dynamo der Summe der Spannungen der einzelnen Lampen, bei nebeneinander geschalteten Lampen dagegen der Spannung einer einzigen Lampe gleich sein.

Die Berechnung der Leitungen umfasst hauptsächlich:

1. Praktische mechanische Regeln.

2. Praktische elektrische Regeln.
3. Die Berechnung der Leitungen nach dem zulässigen Spannungsverluste.
4. Berechnung der Leitungen nach dem Stromvertheilungssystem.
5. Berechnung der Leitungen nach der Art der Verwendung.

116. Praktische mechanische Regeln. Zum Schutze der Leitungen vor mechanischer Zerstörung müssen die Durchmesser und die Entfernungen der Befestigungspunkte der Festigkeit derselben entsprechend, gewählt sein. Man wählt

einen massiven Draht unter 0·5 *mm* Durchmesser bei einer Entfernung unter 10 *m*,

einen massiven Draht über 1·5 *mm* Durchmesser bei einer Entfernung über 10 *m*,

einen massiven Draht über 5 *mm* Durchmeser bei einer Entfernung über 40 *m*. Der Querschnitt der Drahtlitzen soll wenigstens 3 mm^2 messen.

117. Praktische elektrische Regeln. Soll die Leitung nicht warm werden, so muss der Querschnitt derselben genügend groß sein. Die Stromwärme wächst mit dem Quadrate der Anzahl der Ampère für 1 mm^2 und mit dem Widerstand der Leitung (I. B.) Zusammenhängende Werte von Leitungsquerschnitten, Drahtdurchmessern und zulässigen Beanspruchungen in Ampère gibt die folgende Tabelle an:

Tabelle.

Drahtdurchmesser in *mm* rund	Leitungsquerschnitt in mm^2	Zulässige höchste Beanspruchung in Ampère für 1 mm^2	Ampère
1·2 bis 2·8	1 bis 6	4	4 bis 24
2·8 bis 4·8	6 bis 18	3	18 bis 54
4·8 bis 11·3	18 bis 100	2	36 bis 200
11·3 bis 25	100 bis 500	1·5	150 bis 750
über 25	über 500	1	über 500

Zum Zwecke oberflächlicher Schätzungen der Leitungsquerschnitte für geringe Entfernungen und mittlere Drahtdurchmesser nimmt man häufig für je 2 Ampère einen Kupferquerschnitt von 1 mm^2 an.

Unter dieser Annahme kann man die Leitungsquerschnitte augenblicklich angeben. Fließen beispielsweise durch einen Draht 20 Ampère,

so muss der Querschnitt desselben 10 mm^2 (3·6 *mm* Durchmesser) betragen. Bei großen Entfernungen ergibt diese Schätzung einen zu hohen Widerstand der Leitung und somit einen zu hohen Spannungsverlust in derselben.

118. Die Berechnung der Leitungen nach dem zulässigen Spannungsverlust. Je nach der Entfernung darf bei einer Nebeneinanderschaltung von Stromabnehmern der Spannungsverlust bis zu den letzten Lampen aller Gruppen 3 bis 15% betragen. Um das Kupfergewicht möglichst niedrig zu gestalten, wählt man auf langen Strecken, welche hohe Stromstärken führen einen größeren, dagegen auf kurzen Strecken mit niederen Stromstärken einen kleineren Spannungsverlust.

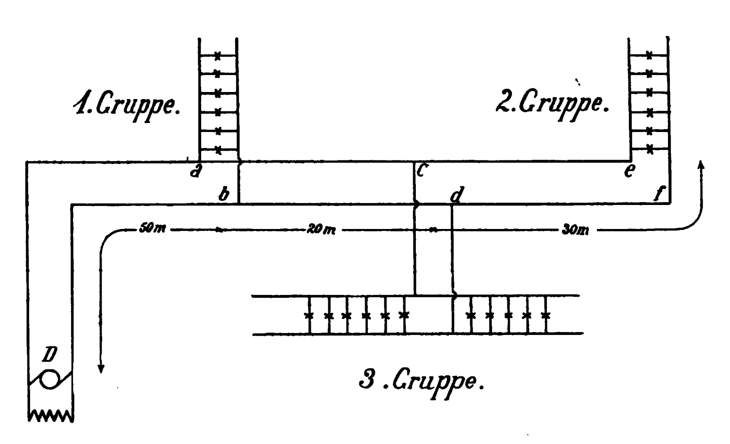


Fig. 333. Schema zur Leitungsberechnung.

Bei Bogenlichtanlagen kann in den Zuleitungen zu den einzelnen Lampen ein größerer Widerstand herrschen, weil jeder Bogenlampe ein sogenannter Beruhigungswiderstand vorgeschaltet werden muss.

Beispiel: Zur Erläuterung einer Leitungsberechnung sei ein Beispiel sammt einer Leitungsskizze, Fig. 333 angeführt. Von einer Dynamo *D* aus, deren Klemmenspannung 100 Volt beträgt, sind 3 Glühlampengruppen mit 0·5 Ampèrelampen nebeneinander geschaltet. Die Anzahl der Lampen in den einzelnen Gruppen und die Entfernungen sind aus derselben Figur ersichtlich.

Mit Bezug auf die eingangs dieses Paragraphen gemachte Bemerkung legt man der Berechnung bei einer Glühlampe von 0·5 Ampère eine Stromstärke von 0·8 Ampère zugrunde.

Berechnung des Spannungsverlustes auf der Strecke *D a b* des Leitungsnetzes. Da in der Fig. 333 23 Lampen nebeneinander geschaltet sind, beträgt die Gesammtstromstärke

$$23 \,.\, 0{\cdot}8 = 18{\cdot}4 \text{ Ampère.}$$

Rechnet man, mit Berücksichtigung der obigen Tabelle bezw. Sicherheitsvorschriften (II. Th. 3. B.), 3 Ampère für 1 mm^2, so ergibt sich damit ein Querschnitt von

$18{\cdot}4 : 3 \backsimeq 6\ mm^2$ oder ein Durchmesser von rund 3 *mm* auf der Leitungsstrecke *D a b*.

Aus der Gleichung

$w = c \, . \, \frac{l}{q}$ (I. Th., 1. Bd. S. 17) ergibt sich, bei $c = 0{\cdot}016,$[1] unter den obigen Annahmen

$$w = 0{\cdot}016 \, . \, \frac{100}{6} = 0{\cdot}27 \text{ Ohm.}$$

Damit folgt der Spannungsverlust aus dem Ohm'schen Gesetze

$V = A \, . \, \Omega = 18{\cdot}4 \, . \, 0{\cdot}27 = 4{\cdot}968 \backsimeq 5$ Volt Spannungsverlust auf der Strecke von der Dynamo *D* bis zu den Abzweigungspunkten der ersten Lampengruppe *a* und *b*.

In derselben Weise berechnet man die Spannungsverluste auf den übrigen Strecken des Leitungsnetzes.

Berechnung des Spannungsverlustes auf der Strecke von den Abzweigungspunkten *a* und *b* bis zu den Abzweigungspunkten *c* und *d*.

Die durch diese Leitung fließende Stromstärke ergibt sich wieder aus der Lampenzahl. Da jetzt von den 23 Lampen die 6 Lampen der ersten Gruppe abzurechnen sind, erübrigen 17 Lampen oder $17 . 0{\cdot}8 = 13{\cdot}6$ Ampère oder wenn man, der obigen Tabelle entsprechend, 4 Ampère für 1 mm^2 als zulässige Beanspruchung wählt

$13{\cdot}6 : 4 = 3{\cdot}4\ mm^2$ ($2{\cdot}1\ mm$ Durchmesser).

Der Widerstand dieser Leitung

$w = c \, . \, \frac{l}{q} = \frac{0{\cdot}016 \, . \, 40}{3{\cdot}4} = 0{\cdot}2$ Ohm und der Spannungsverlust.

$V = A \, . \, \Omega = 13{\cdot}6 \, . \, 0{\cdot}2 = 2{\cdot}72$ Volt Spannungsverlust auf der Strecke zwischen den Punkten *a* und *b* und zwischen den Punkten *c* und *d*.

Berechnung des Spannungsverlustes auf der Strecke von den Abzweigungspunkten *c* und *d* bis zu den Abzweigungspunkten *e* und *f*. Auf dieser Strecke fließt nur mehr der Strom für 6 Lampen, also

$6 \, . \, 0{\cdot}8$ Ampère $= 4{\cdot}8$ Ampère.

Rechnet man wieder 4 Ampère für 1 mm^2, so ergeben sich als Leitungsquerschnitt $4{\cdot}8 : 4 = 1{\cdot}2\ mm^2$ (annähernd $1{\cdot}3\ mm$ Durchmesser).

Diesem Querschnitte entspricht ein Widerstand

$w = c \, . \, \frac{l}{q} = \frac{0{\cdot}016 \, . \, 60}{1{\cdot}2} = 0{\cdot}8$ Ohm und ein Spannungsverlust

$V = A \, . \, \Omega = 4{\cdot}8 \, . \, 0{\cdot}8 = 3{\cdot}84$ Volt.

Den Querschnitt der Zuleitungsdrähte zu den einzelnen Lampengruppen wählt man ebenfalls mit Rücksicht auf die letzte Tabelle. Da diese Leitungen in der Regel kurz sind, kann der Widerstand derselben zumeist vernachlässigt werden.

Im Handel sind nur Kupferleitungen von bestimmten Normalquerschnitten vertreten; man wählt in den einzelnen Fällen jenen Querschnitt, welcher einem Normalquerschnitte zunächst liegt, ändert so den Spannungsverlust nur unbedeutend und behält annähernd die gleiche Strombeanspruchung.

---

[1]) Nach den Kupfernormalien des Verbandes deutscher Elektrotechniker darf der specifische Widerstand *c* nicht größer sein als $0{\cdot}0175$ (II. Th., 2. B. S. 209, 63).



Eine übersichtliche Zusammenstellung der Berechnung von Widerständen, Querschnitten, Durchmessern, specifischen Leitungswiderständen und Längen von Leitern geben die folgenden Beispiele.

Beispiel: Wie groß müssen der Widerstand und Querschnitt (Durchmesser) einer Leitung aus Kupfer von 200 *m* Länge sein, wenn dieselbe von 10 Ampère durchflossen wird und der Spannungsverlust 5 Volt betragen soll?

1. Berechnung des Widerstandes der Leitung.

Aus dem Ohm'schen Gesetze

$A = \frac{V}{\Omega}$ folgt

$10 = \frac{5}{\Omega}$, also $\Omega = 0 5$ Ohm.

2. Berechnung des Leitungsquerschnittes.

Der Widerstand irgend eines Leiters ergibt sich aus der Formel

$w = c \cdot \frac{l}{q}$ (I. Seite 44), worin

für Kupfer $c = 0{\cdot}016$ bis $0{\cdot}0166$.

$0{\cdot}5 = 0{\cdot}0166 \cdot \frac{200}{q} = \frac{3{\cdot}32}{q}$ und

$q = \frac{3{\cdot}32}{0{\cdot}5} = 6{\cdot}64\ mm^2$.

3. Berechnung der Durchmesser.

Der Querschnitt $q = \frac{\pi d^2}{4}$, worin

$\pi = 3{\cdot}14$ (Ludolphische Zahl),
d = Durchmesser.

$6{\cdot}64 = 3{\cdot}14 \cdot \frac{d^2}{4}$,

$d^2 = \frac{4 \cdot 6{\cdot}64}{3{\cdot}14} = 8{\cdot}4$,

$d = \sqrt{8{\cdot}4} = 2{\cdot}9\ mm$.

4. Berechnung des specifischen Widerstandes.

Derselbe ergibt sich aus der Formel:

$w = c \cdot \frac{l}{q}$ oder $c = \frac{w \cdot q}{l} = \frac{0{\cdot}5 \cdot 6{\cdot}64}{200} = 0{\cdot}0166$ Ohm.

Beispiel: Welche Länge muss eine Leitung aus Kupfer von 6·64 mm^2 Querschnitt haben, wenn ihr Widerstand 0·5 Ohm beträgt?

Ähnlich, sowie unter 4., folgt aus der Formel

$w = c \cdot \frac{l}{q}$, die Länge $l = \frac{w \cdot q}{c}$,

$l = \frac{0{\cdot}5}{0{\cdot}0166} \cdot 6{\cdot}64 = 200$ Meter.

Das Kupfergewicht der Leitungen ergibt sich aus der Überlegung, dass 1 dm^3 Kupfer 8·9 *kg* wiegt.

Beispiel: Wie groß ist das Gewicht einer Kupferleitung von 100 *m* (1000 *dm*) Länge und 7 mm^2 (0·0007 dm^2) Querschnitt?

Die Anzahl der dm^3 beträgt in diesem Falle 1000 dm . 0·0007 dm^2 = 0·7 dm^3. Da das Gewicht

1 dm^3 Kupfer 8·9 kg beträgt, müssen

0·7 dm^3 Kupfer 8·9 × 0·7 = 6·23 kg wiegen.

Die Berechnung des Spannungsverlustes in Leitungen kann auch mit Hilfe von Tabellen erfolgen (II. Th. 3. B. Seite 268 und 269).

Unter Meter-Ampère versteht man das Produkt aus Meter × Ampére. Z. B. sind 147·9 Meter-Ampère (1 Wert der 2. Kolonne der Tabelle) = 14·79 Meter × 10 Ampère u. s. w. Wenn V = Spannungsverlust in Volt, A = Stromstärke in Ampère, $\frac{1}{c}$ = Leitungsfähigkeit = 57·1, l = Länge der Leitung im m, q = Querschnitt der Leitung im mm^2, so ist

$$V = \frac{A \cdot c\, l}{q} = A \cdot l \frac{c}{Q} \text{ ; } A \cdot l = \text{Meter-Ampère.}$$

Unter Zugrundelegung der ersten drei Werte der Tabelle (0·5 Volt Spannungsverlust, 5·50 mm^2 und 147·9 Meter-Ampère) erhalten wir:

$$V = \frac{147 \cdot 9}{57 \cdot 1 . 5 \cdot 5} = \text{rund } 0 \cdot 5$$ (Erster Wert der ersten Kolonne der Tabelle).

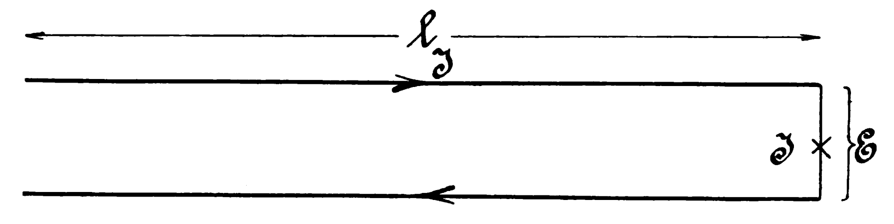


Fig. 334. Zweileitersystem.

119. Berechnung der Leitungen nach dem Strom-Vertheilungssystem. Zur einheitlichen Durchführung der nachstehenden Berechnungen sollen folgende Bezeichnungen allgemein gelten:

I = Gesammt-Stromstärke in Ampère,

i = Stromstärke per Gruppe in Ampère,

V = zulässiger Gesammt-Spannungsverlust in Volt,

v = zulässiger Spannungsverlust per Gruppe in Volt,

E = Gruppenspannung in Volt am Stromverbrauchsorte,

L = Gesammt-Effekt in Volt-Ampère, welche am Verbrauchsorte abzugeben ist,

c = specifischer Widerstand in Ohm = Widerstand für 1 m Leitung von 1 mm^2 Querschnitt,

l = Länge von einem Leiter in Meter,

q = Querschnitt von einem Leiter in mm^2.

Für das Zweileitersystem, Fig. 234 ergibt sich nach dem Ohm'schen Gesetze der Verlust in den Leitungen

$$V = \frac{c\,2\,l}{q}\,I$$

oder, nachdem bloß eine Gruppe vorhanden ist,

$$v = V = \frac{2\,c\,l}{q}\,I \;.\;.\;.\;.\;.\; 1.)$$

und somit der Leitungsquerschnitt

$$q = \frac{2\,c\,l}{v}\,I \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; 2.)$$

Diese zwei Formeln, 1) und 2) haben allgemein sowohl für Gleichstrom als auch für Wechselstrom Giltigkeit. Während jedoch bei Wechselstrombelastungen, welche keine Induktions- und Kapacitätswirkungen veranlassen, die Stromstärke

$$I = \frac{A}{E}$$

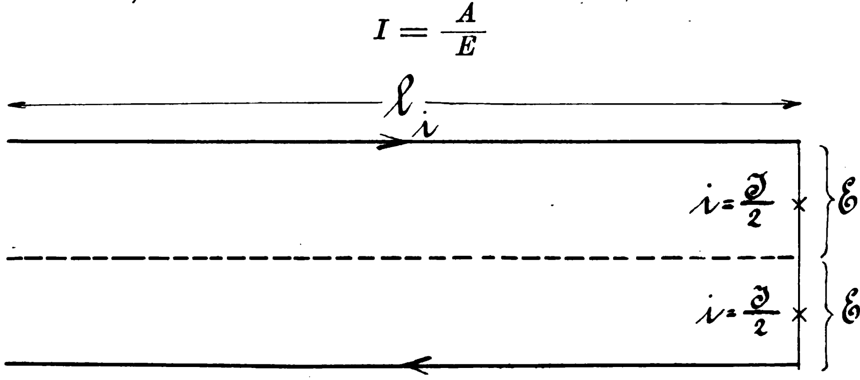


Fig. 335. Dreileitersystem.

ist, wird bei induktiven Belastungen,[1]) welche zwischen Spannung und Stromstärke eine Phasenverschiebung um den veränderlichen Winkel φ aufweisen, die Stromstärke (I. Th., 1 B.)

$$I = \frac{A}{E\cos\varphi}\,.$$

Nachdem für diese Fälle $\cos\varphi$ kleiner ist als eins, so lässt sich ohneweiters erkennen, dass bei induktiver Belastung zur Übertragung einer bestimmten Energie eine höhere Stromstärke und somit auch ein größerer Leitungsquerschnitt nothwendig ist, als bei induktionsfreier Belastung. Der Einfluss der Kapacität dagegen ist gewöhnlich so gering,

[1]) Lionel Fleischmann, Elektrotechnische Zeitschrift 1900, S. 255.

Josef Sartori, Elektrotechnischer Neuigkeitsanzeiger und maschinentechnische Rundschau, 1900, S. 41. Josef Herzog und Clarence P. Feldmann, Elektrotechnische Zeitschrift, 1900, S. 167.

dass derselbe bei den Berechnungen zumeist vernachlässigt werden kann. Eine graphische Lösung mit induktiver Belastung folgt.

Bei dem Dreileitersystem, Fig. 335, fließt bei gleichmäßiger Belastung der beiden Gruppen in dem Mittelleiter kein Strom, so dass die Berechnung wie bei einem Zweileitersystem mit zwei hintereiander geschalteten Gruppen erfolgt. Demnach ist der Gesammtverlust

$$V = \frac{2\,c\,l}{q}\,i$$

oder, bei Einführung der Gesammtstromstärke $I = 2\,i$,

$$V = \frac{2\,c\,l}{q} \cdot \frac{I}{2} = \frac{c\,l}{q}\,I.$$

Daraus folgt der Verlust per Gruppe

$$v = \frac{V}{2} = \frac{c\,l}{2\,q}\,I \,\ldots\ldots\ldots\, 3.)$$

und der Querschnitt eines Außenleiters

$$q = \frac{c\,l}{2\,v}\,I \,\ldots\ldots\ldots\, 4.)$$

Vergleicht man die Formeln 2.) und 4.), so ergiebt sich, dass beim Dreileitersystem der Leitungsquerschnitt gleich dem vierten Theil von jenem des gleichartig beanspruchten Zweileitersystems ist.

Sind beim Fünfleitersystem, Fig. 336, alle vier Gruppen gleich belastet, so sind die Innenleiter ebenfalls stromlos und die Berechnung erfolgt wie für ein Zweileitersystem mit vier hintereinander geschalteten Gruppen.

Es ist daher der Gesammtverlust

$$V = \frac{2\,c\,l}{q} \cdot i$$

oder, nachdem $i = \frac{I}{4}$ ist, wird

$$V = \frac{2\,c\,l}{q} \cdot \frac{I}{4} = \frac{c\,l}{2\,q}\,I.$$

Der Spannungsverlust per Gruppe ist dann

$$v = \frac{V}{4} = \frac{c\,l}{8\,q}\,I \,\ldots\ldots\ldots\, 5.)$$

und der Querschnitt der Außenleiter

$$q = \frac{c\,l}{8\,v}\,I \,\ldots\ldots\, 6.)$$

Gegenüber dem Zweileitersystem ist sonach der Leitungsquerschnitt ein Sechszehntel des unter gleichen Verhältnissen bei jenem erhaltenen Wertes.

Zur Berechnung von Drehstrom-Leitungsnetzen mit induktionsfreier Belastung und gleich belasteten Gruppen gelten nachstehende Formeln.[1]) Bei der Dreiecksschaltung, Fig. 322 ist der Ohm'sche Spannungsverlust einer Gruppe

$$v = \frac{cl}{q} I \,.\,.\,.\,.\,.\,.\,.\, 7.)$$

und sonach der Querschnitt eines Leiters

$$q = \frac{cl}{v} I \,.\,.\,.\,.\,.\,.\,.\, 8.)$$

Der Leitungsquerschnitt dieses Systems wird also nur halb so groß wie der des gleich belasteten Zweileitersystems.

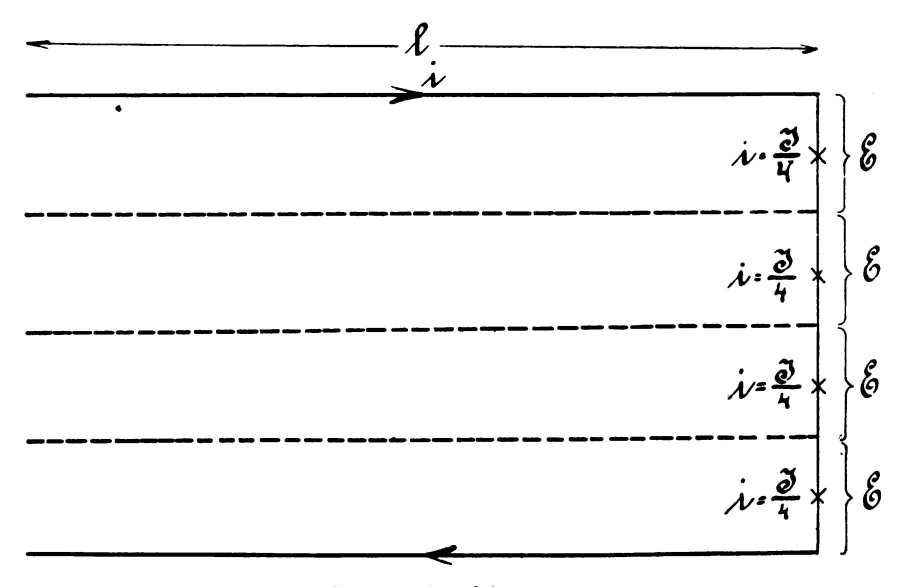


Fig. 336. Fünfleitersystem.

Bei der Sternschaltung, Fig. 321, erhält man für den Spannungsverlust einer Gruppe

$$v = \frac{cl}{3q} I \,.\,.\,.\,.\,.\,.\, 9.)$$

und für den Querschnitt eines Leiters

$$q = \frac{cl}{3v} I \,.\,.\,.\,.\,.\,.\, 10.)$$

Dieses System erfordert daher einen Querschnitt, welcher nur ein Sechstel desjenigen vom Zweileitersystem ist.

[1]) Vgl. Ludwig Fischer, Elektrotechnische Zeitschrift, 1895, S. 80.

Den Wert für die Gesammtstromstärke I findet man aus der Größe der abzugebenden Leistung in folgender Weise. Nach den in den Figuren 321 und 322 eingesetzten Bezeichnungen ergibt sich für beide Schaltungen bei induktionsfreier Belastung die Leistung einer Gruppe

$$= E i$$

und für das ganze System

$$L = 3 E i.$$

Nachdem $3 i$ die gesammte Stromstärke darstellt, ist also

$$L = E I$$

und . . . . $I = \frac{L}{E}$

Bei induktiver Belastung ist, unter Berücksichtigung der zwischen Spannung und Strom um den Winkel φ eintretenden Phasenverschiebung der Ausdruck für die Leistung mit $\cos \varphi$ zu multiplicieren. Es wird also

$$L = E I \cos \varphi$$

und . . . . $I = \frac{L}{E \cos \varphi}$.

Legt man allen Vertheilungssystemen gleichartige Verhältnisse zugrunde, so erhält man nach den vorstehend durchgeführten Berechnungen bei induktionsfreier Belastung folgende aufzuwendende Leitungsmaterialmengen.

System	Art der Leitungen	Gesammter Leitungsmaterial-aufwand in %
Zweileiter	zwei gleiche Leiter	100
Dreileiter	Innenleiter halb so stark wie	31·3
Fünfleiter	die Außenleiter	10·9
Drehstrom-Dreiecksschaltung	drei gleiche Leiter	75
„ Sternschaltung	vier „ „	33·3

120. Berechnung der Leitungen nach der Art der Verwendung.

a) Allgemeines.

Die nachfolgenden Berechnungen sind der Einfachheit wegen für Einzelleiter durchgeführt, wobei induktions- und kapacitätsfreie Belastungen vorausgesetzt sind. In allen Fällen sind die Formeln für den Spannungsabfall entwickelt, doch kann der Leitungsquerschnitt aus ihnen bei gegebenem V, ohneweiters ermittelt werden.

Von den zur Verwendung gelangenden Bezeichnungen bedeutet:

V = Gesammt-Spannungsverlust in Volt,
I, i = Stromstärke in Ampères,
W, w = Leitungs-Widerstand in Ohm,
c = specifischer Widerstand in Ohm,
L = Leitungs-Länge in Meter,
q = Leitungs-Querschnitt in mm^2.

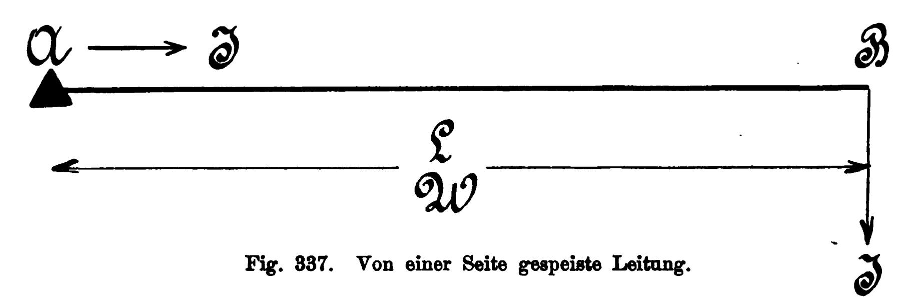


Fig. 337. Von einer Seite gespeiste Leitung.

b) Vertheilungsleitungen.

Der einfachste Fall der Stromvertheilung ist in Fig. 337 dargestellt. Die Leitung AB wird von einer Seite, und zwar vom Speisepunkt A, mit Strom versorgt, während am anderen Ende, bei B, die Stromentnahme erfolgt. Die den Leiter durchfließende Stromstärke ist somit auf der ganzen Strecke dieselbe. Der Spannungsabfall von A nach B ergibt sich dann nach dem Ohm'schen Gesetz mit

$$V = IW = I\frac{cL}{q} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 11.)$$

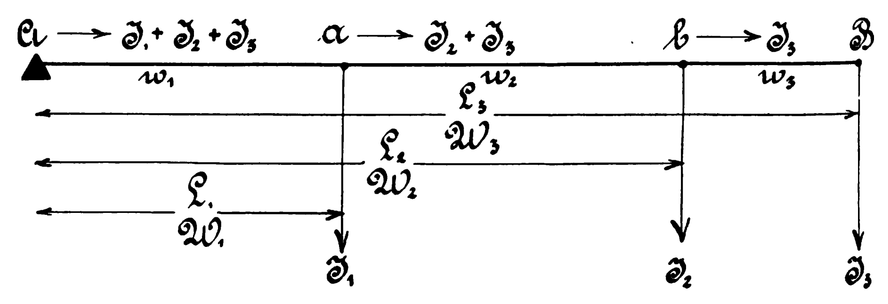


Fig. 338. Stromentnahme an mehreren Stellen.

Fig. 338 zeigt eine Leitung AB, welche ebenfalls von einer Seite (Punkt A) Strom erhält, bei welcher jedoch die Stromentnahme an mehreren Stellen (Punkte a b und B) stattfindet. In diesem Falle werden

die einzelnen Leiterstücke von verschiedenen Stromstärken durchflossen. Der gesammte Spannungsabfall von A nach B ist gleich der Summe von den Spannungsverlusten in den einzelnen Leiterstücken und somit:

$$
\begin{aligned}
V &= \sum Iw \\
&= (I_1 + I_2 + I_3)\, w_1 + (I_2 + I_3)\, w_2 + I_3\, w_3 \\
&= I_1 w_1 + I_2 w_1 + I_3 w_1 + I_2 w_2 + I_3 w_2 + I_3 w_3 \\
&= I_1 w_1 + I_2\, (w_1 + w_2) + I_3\, (w_1 + w_2 + w_3).
\end{aligned}
$$

Setzt man zur Vereinfachung der Formel die Faktoren: $w_1 = W_1$, $(w_1 + w_2) = W_2$ und $(w_1 + w_2 + w_3) = W_3$, so erhält man für den gesammten Spannungsabfall

$$V = I_1 W_1 + I_2 W_2 + I_3 W_3 \qquad \text{12.)}$$

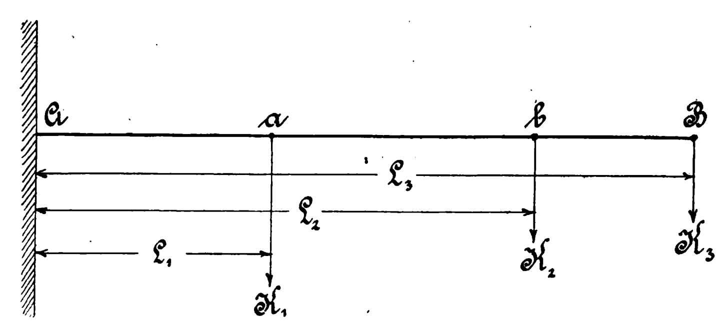


Fig. 339. Einseitig befestigter Träger mit Belastung an mehreren Stellen.

Bei genauerer Betrachtung erinnert diese Formel an die Berechnung eines belasteten Trägers, welcher an einer Seite befestigt ist und auf den in verschiedenen Punkten Kräfte einwirken. Die Gesammtwirkung der Kräfte auf den in Fig. 339 dargestellten Träger $A\ B$ ist $= K_1 L_1 + K_2 L_2 + K_3 L_3$, d. h. gleich der Summe der Kraftmomente bezogen auf den Befestigungspunkt.

Diesem Falle analog führt Carl Hochenegg für die Ausdrücke IW die Bezeichnung „Strommomente" ein und entwickelt seine graphische Bestimmung von Leitungen auf Grund der graphischen Bestimmung von Trägern.

Graphische Lösungen folgen.

Aus der Formel 12) ergibt sich nunmehr die Regel:

Der Spannungsabfall von einem Stromzuführungspunkte bis zu einem beliebigen Punkte, ist gleich der Summe aller zwischen diesen zwei Punkten vorhandenen Strommomente, bezogen auf den Stromzuführungspunkt.

Für den besonderen Fall, wo der Querschnitt der Leitung durchwegs derselbe $= q$ ist, vereinfacht sich die Formel 12) wie folgt.

$$V = I_1 \frac{cL_1}{q} + I_2 \frac{cL_2}{q} + I_3 \frac{cL_3}{q}$$

$$V = \frac{c}{q} (I_1 L_1 + I_2 L_2 + I_3 L_3) \ldots\ldots 13.)$$

Wird eine Leitung AB, Fig. 340, von einer Seite A gespeist und geschieht die Stromentnahme auf der ganzen Strecke in vollkommen gleichmäßiger Weise, so kann man zur Bestimmung des Spannungsabfalles auf folgende Art gelangen. Man denkt sich den Leiter in sehr viele kleine, gleiche Theilchen zerlegt, deren Länge wir der Einfachheit wegen als Längeneinheit bezeichnen. Die auf ein solches Theilchen entfallende gleichmäßige Strombelastung $i = \frac{I}{L}$ kann man sich nun, in Anbetracht der Kleinheit der Theilchen, in der Mitte jedes derselben ver-

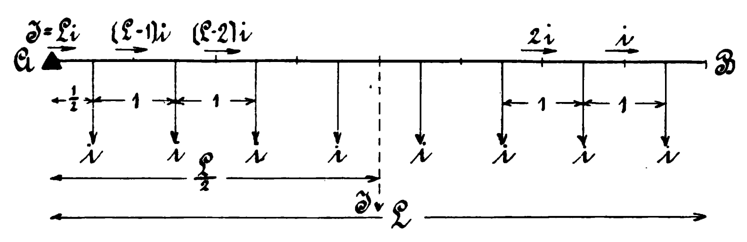


Fig. 340. Gleichmäßige Stromentnahme.

einigt denken. Nimmt man ferner an, dass der Leiter der einfacheren Montage wegen durchwegs gleichen Querschnittes q ist, so erhält man

$$V = (L\, i) \frac{c\, \frac{1}{2}}{q} + ([L-1]\, i) \frac{c\, 1}{q} + ([L-2]\, i) \frac{c\, 1}{q} + \ldots + (2\, i) \frac{c\, 1}{q} + \frac{i\, c\, 1}{q};$$

darin bedeuten die eingeklammerten Werte die in den einzelnen Leitungstheilen fließenden Stromstärken. Ordnet man die Gleichung, so ergibt sich weiter

$$V = \frac{c\, i}{q} \left(\frac{L}{2} + \underbrace{[L-1] + [L-2] + \ldots\ldots + 2 + 1} \right)$$

Nach einer mathematischen Regel ist der Wert für die Reihe: $[L-1] + [L-2] + \ldots\ldots + 2 + 1 = \frac{L}{2} [L-1]$ und daher

$$V = \frac{c\, i}{q} \left(\frac{L}{2} + \frac{L}{2} [L-1] \right) \text{ und}$$

$$= \frac{c\, i}{q} \frac{L}{2} (1 + L - 1).$$

Setzt man schließlich für $i\, L = I$, dann erhält man

$$V = \frac{c}{q} \frac{L}{2} I \ldots\ldots\ldots\ldots 14.)$$

d. h. der Gesammtverlust in einem gleichmäßig belasteten Leiter berechnet sich auf dieselbe Weise, als wenn die gesammte Stromstärke im Mittelpunkte des Leiters entnommen werden möchte.

Wird eine Leitung AB, Fig. 341, einseitig mit Strom versorgt und erfolgt die Stromentnahme einerseits über die ganze Länge gleichmäßig vertheilt und außerdem noch an mehreren Punkten (z. B. $a\ b$), so sind

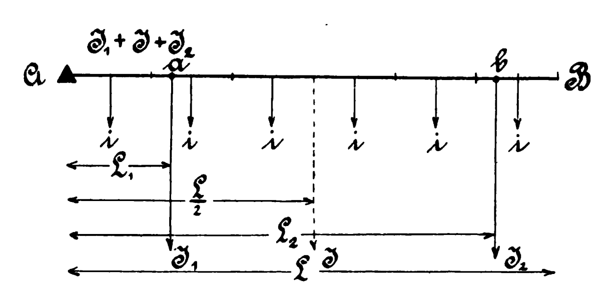


Fig. 341. Gemischte Stromentnahme.

für die Leitungsberechnung die beiden Formeln 12) und 14) vereint zu verwenden. Die gleichmäßig vertheilte Belastung kann man sich daher wieder in dem Mittelpunkte der Leitung wirksam denken. Der Gesammtverlust von A und B ist sonach bei durchwegs gleichem Leitungsquerschnitt

$$V = \frac{c}{q}\left(I_1\, L_1 + I \frac{L}{2} + I_2\, L_2\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 15.)$$

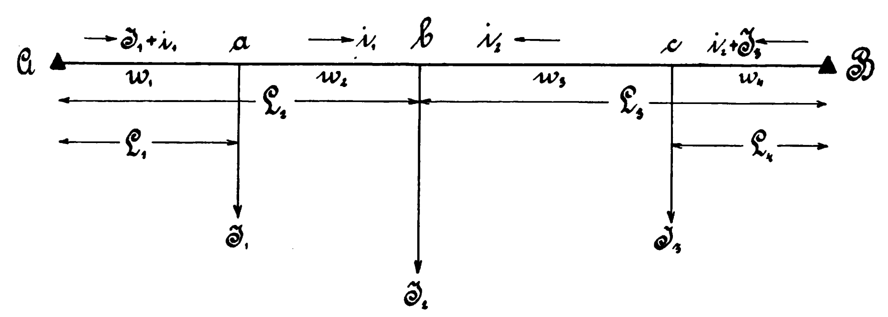


Fig. 342. Leitung mit zwei Speisepunkten.

In Fig. 342 ist eine Leitung AB dargestellt, welche von zwei Speisepunkten A und B den Strom empfängt und an mehreren Punkten, $a\ b$ und c, Stromabzweigungen aufweist. Bei der Annahme, dass die beiden Speisepunkte gleiches Potential haben und die Leitung auf der ganzen

Länge gleichen Querschnitt besitzt, gelangt man zu folgendem Rechnungsvorgang.

An der Stromlieferung betheiligen sich für jede Stromabnahmsstelle beide Speisepunkte, eventuell einer im negativen Sinne. Betrachten wir eine beliebige Abzweigstelle, z. B. bei Punkt b, so müssen für dieselbe die zufließenden Ströme gleich dem abfließenden Strome sein.

$$i_1 + i_2 = I_2 \quad \ldots \ldots \ldots \quad 16\,a).$$

Ferner muss, nachdem die Spannungen von A und B einander gleich sind und in dem Punkte b nur ein Potential herrschen kann, der Spannungsverlust von A nach b gleich jenem von B nach b sein, d. h.

$$(I_1 + i_1)\, w_1 + i_1\, w_2 = i_2\, w_3 + (i_2 + I_3)\, w_4$$

wofür, entsprechend der Formel 13), gesetzt werden kann:

$$\frac{c}{q}\,(I_1\, L_1 + i_1\, L_2) = \frac{c}{q}\,(i_2\, L_3 + I_3\, L_4)$$

oder $\ldots\ldots$ $I_1\, L_1 + i_1\, L_2 = i_2\, L_3 + I_3\, L_4$ $\ldots\ldots$ 16 b)

Die zwei Gleichungen 16 a und 16 b enthalten nur zwei Unbekannte, nämlich i_1 und i_2, welche daraus ohne weiters gefunden werden. Setzt man den Wert für

$$i_1 = I_2 - i_2$$

in die Gleichung 16 b ein, so erhält man

$$I_1\, L_1 + I_2\, L_2 - i_2\, L_2 = i_2\, L_3 + I_3\, L_4$$

$$I_1\, L_1 + I_2\, L_2 - I_3\, L_4 = i_2\, (L_2 + L_3)$$

$$i_2 = \frac{I_1\, L_1 + I_2\, L_2 - I_3\, L_4}{L_2 + L_3} \quad \ldots\, 16\,c)$$

Den Wert für i_1 bestimmt man dann aus der Formel 16 a).

Die von den Speisepunkten zu liefernden Ströme betragen für Punkt $A = I_1 + i_1$ und für den Punkt $B = i_2 + I_3$. Bei der Bestimmung des feuersicheren Querschnittes ist natürlich die mehr belastete Seite maßgebend.

Ergibt sich bei obiger Rechnung der eine Theilstrom, z. B. i_1, als negativ, so bedeutet dies, dass der grösste Spannungsabfall nicht in dem beliebig gewählten Punkte b, sondern in einem anderen (für diesen Fall im Punkte a) vorhanden ist. Für den so ermittelten Punkt des größten Spannungsabfalles wird dann nach der Formel 12) beziehungsweise 13) an die endgiltige Bestimmung des Leitungsquerschnittes geschritten, wobei es natürlich gleichgiltig ist, ob man den Spannungsverlust von A aus, oder den ganz gleichen von B aus, der Rechnung zugrunde legt.

Die vorstehende Berechnungsart lässt sich ohneweiters auf die Bestimmung von Ringleitungen anwenden. In Fig. 343 ist eine solche geschlossene Leitungsanordnung angegeben, bei welcher in einem Punkte A der Strom zugeführt und an den Punkten a b c abgeleitet wird. Der

zufließende Strom nimmt seinen Weg zum Theil in der Richtung von *A* gegen *a*, zum Theil in der Richtung von *A* gegen *c*. Die Stromvertheilung erfolgt also in derselben Weise, als wenn die Leitung im Punkt *A* geschnitten, ausgestreckt und von ihren beiden Enden mit gleichem Potential gespeist werden möchte. Für die Rechnung können somit die für Fig. 17 entwickelten Formeln ungeändert benützt werden.

Bei einer Ringleitung mit zwei oder mehr Speisepunkten gleichen Potentials ist der Rechnungsvorgang ebenfalls wie oben, da der Ring einfach in eine entsprechende Zahl von zweiseitig gespeisten Leitungsstrecken zerlegt gedacht werden kann. Für die in Fig. 344 skizzirte Anordnung wären demgemäß die 3 Strecken $\overline{AB}$, $\overline{BC}$ und $\overline{CA}$ getrennt rechnerisch zu behandeln. Die Vertheilung der Belastungen auf die einzelnen Speisepunkte ist in der Skizze ersichtlch gemacht. Die Größe und das Vorzeichen der Theilströme i_1 — i_6 ergibt sich wieder wie früher entwickelt.

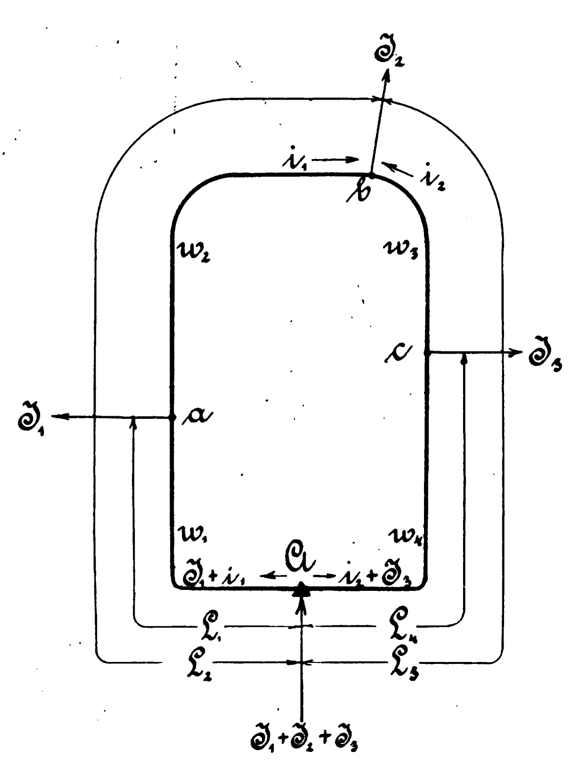


Fig. 343. Berechnung von Ringleitungen.

Kommen wir nochmals auf den, nach Fig. 342 behandelten Fall zurück, so gelangen wir leicht zu nachstehenden Betrachtungen. In dem nach der Rechnung gefundenen Punkte größten Spannungsverlustes setzt sich der abzugebende Strom aus zwei, von den Speisepunkten zufließenden Theilströmen zusammen. In diesem Punkte herrscht also ein Gleichgewichtszustand. Es werden daher die Stromvertheilungsverhältnisse auch dann die gleichen bleiben, wenn wir in diesem Punkte die Leitung entsprechend schneiden. Unter der Annahme, dass bei Fig. 342 der Punkt *b* ermittelt wurde, ergeben sich nach dem Schnitt die Leitungs-

stücke $\overline{Ab}$ und $\overline{bB}$ mit den in Fig. 345 angeführten Belastungen. Für diese einseitig gespeisten Leiter gelten nun, wie bereits erwähnt, die Formeln 12), beziehungsweise 13).

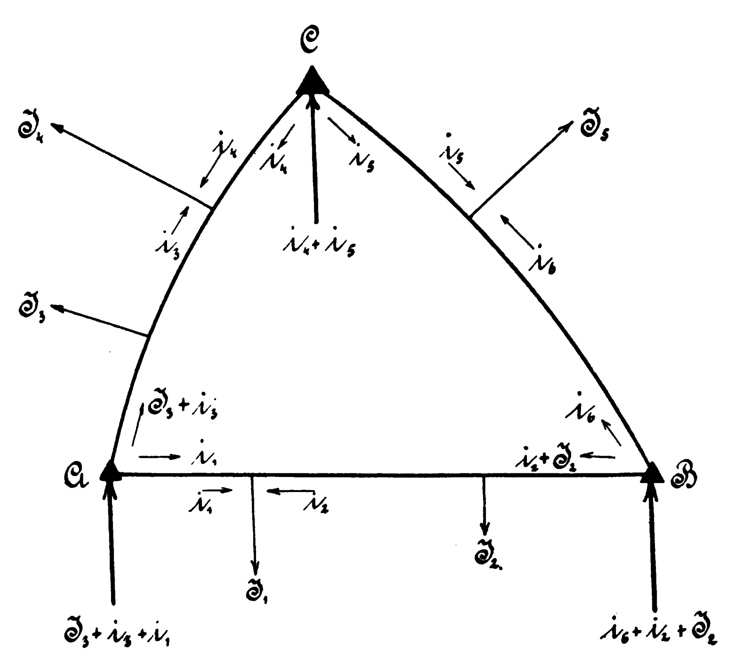


Fig. 344. Ringleitungen mit drei Speisepunkten.

Die vorstehend angedeutete Schnittmethode wird bei mancherlei Leitungsanordnungen mit Erfolg zur Lösung schwieriger Stromvertheilungen angewendet. Nachstehend sollen einige Fälle angeführt werden.

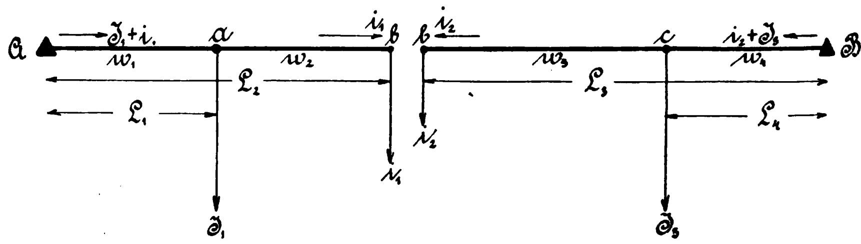


Fig. 345. Schnitt durch Fig. 342.

Fig. 346 zeigt eine von zwei Speisepunkten gleichen Potentials gespeiste Leitung $\overline{AB}$, bei welcher ein durchaus gleicher Querschnitt angenommen sei und bei welcher die Belastung in gleichmäßiger Weise vertheilt ist. In diesem Falle betheiligen sich beide Speisepunkte in voll-

kommen gleicher Weise an der Stromlieferung, indem auf jeden die halbe Belastung enfällt. Der Punkt größten Spannungsabfalles wird demgemäß mit dem Mittelpunkte der Leitung sich decken. Schneidet man die Leitung in diesem Punkte, so erhält man zwei gleichartige und

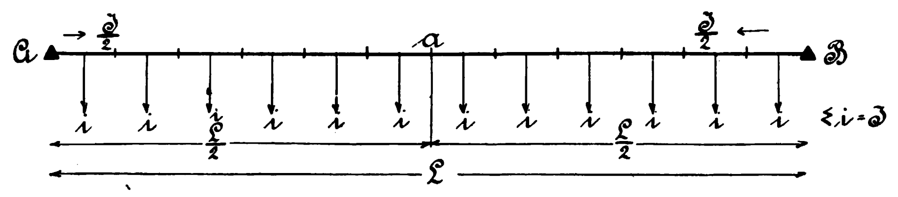


Fig. 346. Leitung gespeist von zwei Speisepunkten.

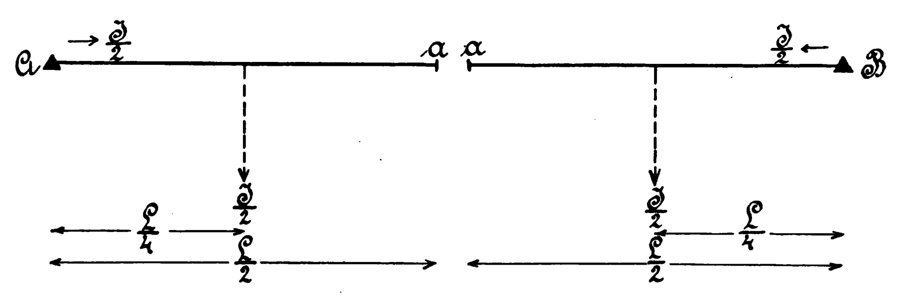


Fig. 347. Schnitt im Punkte *a* der Fig. 346.

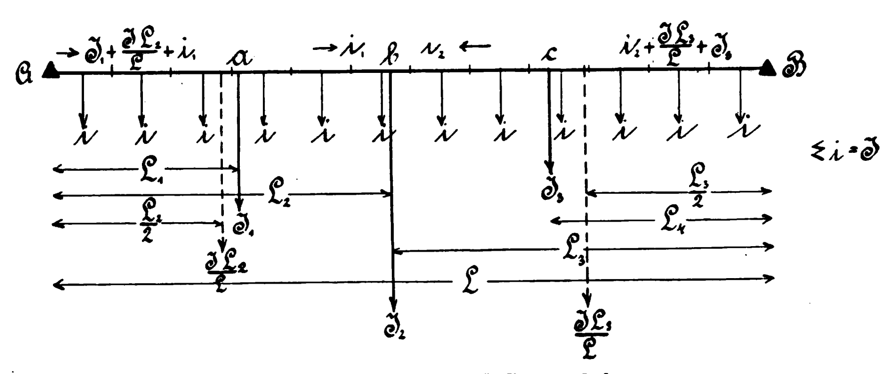


Fig. 348. Gleichmäßige und Gruppenbelastung.

gleichmäßig belastete Stücke $A\bar{a}$ und $\overline{aB}$, Fig. 347. Für diese Belastungsart wurde bereits die Formel 14) entwickelt, welche nun folgende Form annimmt. Der maximale Spannungsverlust wird:

$$V = \frac{c}{q} \frac{L}{4} \frac{I}{2} = \frac{c}{q} \frac{LI}{8} \ldots\ldots\ldots\ldots 17.)$$

Bei einer Leitung, welche von 2 Speisepunkten gleichen Potentials Strom empfängt und welche außer einer gleichmäßigen Belastung noch an mehreren Stellen Gruppenbelastungen aufweist, ist der Rechnungsgang folgender. Der voraussichtliche Punkt größten Spannungsverlustes wird zunächst schätzungsweise angenommen, z. B. in Fig. 348 der Punkt *b*. Der daselbst abzweigende Strom setzt sich wieder aus zwei Theilströmen zusammen, d. h. es ist

$$I_2 = i_1 + i_2.$$

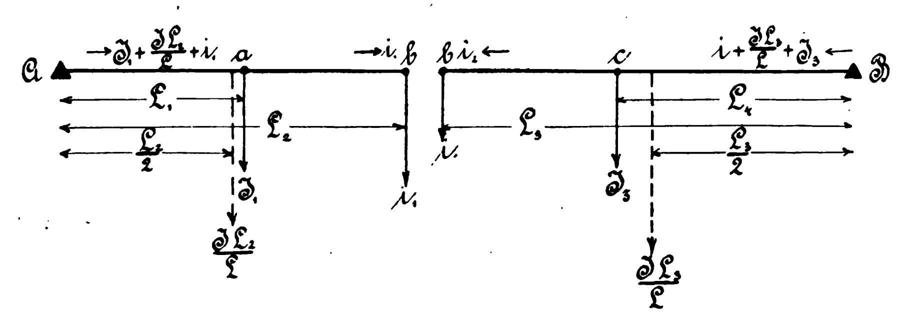


Fig. 349. Schnitt durch den Punkt *b* der Fig. 348. Im rechten Theile der Fig. 349 lies i_2 statt i.

Das Spannungsgefälle von *A* nach *b* muss ferner gleich demjenigen von *B* nach *b* sein. Denkt man sich die gleichmäßigen Belastungen in der Mitte der ihnen entsprechenden Leitungsstrecken wirksam, so wird also:

$$\frac{I\,L_2}{L}\,\frac{L_2}{2} + I_1\,L_1 + i_1\,L_2 = i_2\,L_3 + I_3\,L_4 + \frac{I\,L_3}{L}\,\frac{L_3}{2}.$$

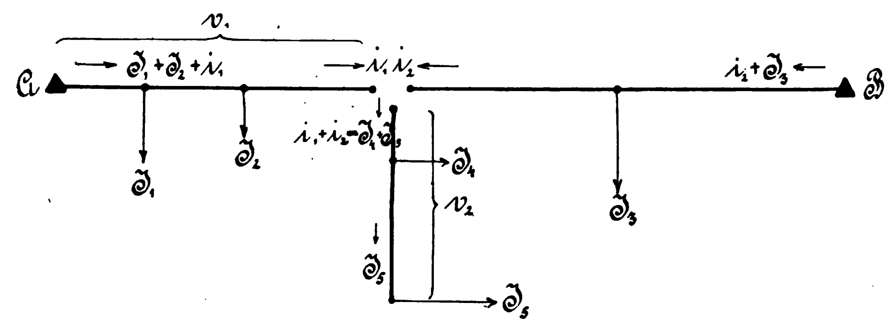


Fig. 350. Schnitt im Abzweigungspunkte.

Aus diesen beiden Gleichungen berechnet man die Unbekannten i_1 und i_2. Werden beide Werte positiv, so ist *b* der gesuchte Schnittpunkt. Im anderen Falle ist der Schnittpunkt entsprechend zu verschieben. Nach Durchführung des Schnittes erhält man die in Fig. 349

dargestellten einseitig gespeisten Strecken $A\bar{b}$ und $b\bar{B}$, für welche die Formel 15) Geltung hat. Zur Beurtheilung des feuersicheren Querschnittes ist wieder das mehr belastete Leiterstück maßgebend, während es für die Bestimmung des maximalen Verlustes gleichgiltig bleibt, welches von beiden Leitungsstücken der Rechnung zugrunde gelegt wird. Bei Berücksichtigung der Strecke $A\bar{b}$ erhält man z. B. für den größten Spannungsverlust den Ausdruck:

$$V = \frac{c}{q}\left(\frac{I L_2}{L}\,\frac{L_2}{2} + I_1 L_1 + i_1\, L_2\right) \ldots\ldots\ldots\ldots \text{18)}.$$

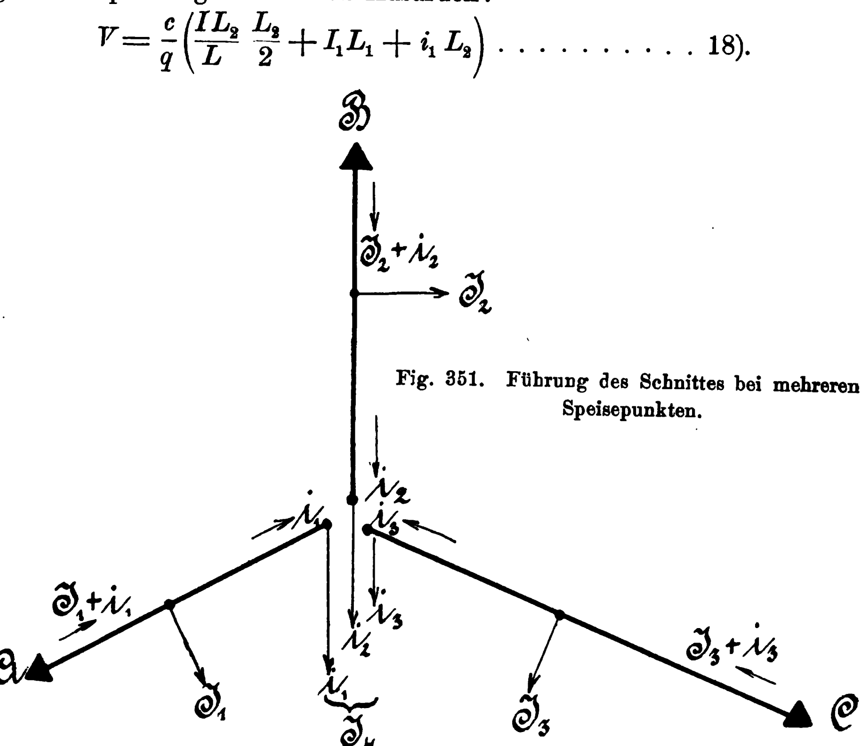


Fig. 351. Führung des Schnittes bei mehreren Speisepunkten.

Hat man ein Leitungssystem zu berechnen, bei welchem von einer zweiseitig gespeisten Leitung ein Leitungsstrang abzweigt, so löst man dieses System durch einen Schnitt im Abzweigpunkte auf., Fig. 350. Man erhält dann drei einseitig gespeiste Leitungen, welche nach den früheren Formeln bestimmt werden. Nachdem sich der Gesammtverlust bis zum Ende der Seitenleitung aus zwei Theilverlusten zusammensetzt (Verlust vom Speise- bis zum Abzweigpunkt $= v_1$ und Verlust in der Abzweigung $= v_2$), so müssen letztere vor Beginn der Rechnung in einem zulässigen Verhältnis zueinander gewählt werden. Die Stromstärke der Abzweigung wird beliebig auf die beiden Speisepunkte vertheilt.

Hat man ein System mit mehreren Speisepunkten, so wird der Schnitt so geführt, dass man wieder auf die früher behandelten einfachen Fälle zurückkommt. Der im Schnittpunkte anzugebende Strom wird in beliebiger Weise auf die Speisepunkte vertheilt. In den Figuren 351—353 sind einige Beispiele angeführt, zu welchen nach Vorstehendem keine besondere Erläuterung als nothwendig erscheint.

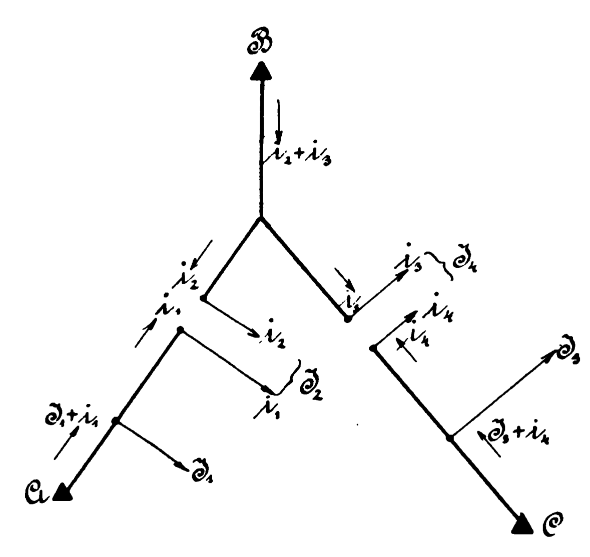


Fig. 352. Führung des Schnittes bei mehreren Speisepunkten.

Schließlich ist in Fig. 354 noch ein Fall angeführt, bei welchem bloß ein Speisepunkt vorhanden ist, von welch letzterem jedoch mehrere in einem Knotenpunkte sich vereinigende Leitungen abgehen. Der Schnitt ist im Knotenpunkte durchgeführt. — Die Spannungsgefälle werden in allen Leitungen gleich, da im Vereinigungspunkte bloß eine Spannung herrschen kann.

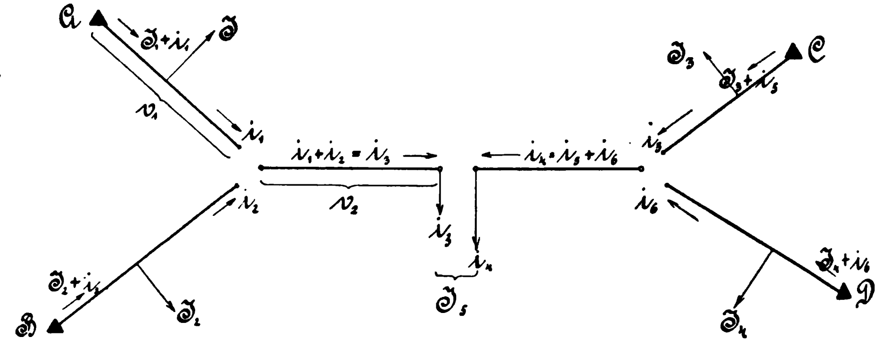


Fig. 353. Führung des Schnittes bei mehreren Speisepunkten.

Wenn man nach den vorstehenden Rechnungsarten die einem zulässigen Spannungsverluste entsprechenden Leitungsquerschnitte erhalten hat, so werden in vielen Fällen diese Werte doch noch nicht praktisch verwendbar sein. Es wird bisweilen nothwendig sein, die

Speisepunkte nachträglich zu verschieben, weil die Leitungen zu stark oder zu schwach ausgefallen sind oder die Speisepunkte in ungünstiger Weise belastet erscheinen. Es wird sich oft auch als nothwendig erweisen, andere Schnittpunkte zu wählen, um nicht zu verschiedenartige und unfabriksmäßige Querschnitte zu erhalten. Bei durchgehenden Leitungen wird man, zur Vereinfachung der Montage, womöglich einen durchaus gleichen Querschnitt wählen.

c) Speiseleitungen.

Nachdem man durch die Berechnung der Vertheilungsleitungen die Belastung der einzelnen Speisepunkte genau ermittelt hat, schreitet man zur Berechnung der Speiseleitungen. Wie bereits früher erwähnt, wird in diese Leitungsgattung ein größerer Verlust als in die Vertheilungsleitungen gelegt, weshalb man sie auch Verlustleitungen nennt. Ihre Berechnung erfolgt in der Weise, dass alle Speisepunkte bei Normalbelastung möglichst gleiche Spannung aufweisen. Der Verlust muss demnach bei allen Leitungen derselbe sein. Ist dies für manche Fälle nicht erreichbar, so werden die früher angegebenen Zusatzmittel in Verwendung gebracht.

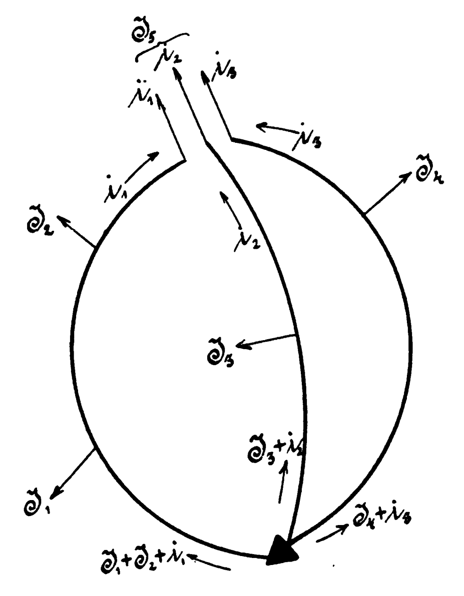


Fig. 354. Speisepunkt, von welchem mehrere Leitungen abgehen.

Von den Speiseleitungen werden im allgemeinen keine Stromabzweigungen gemacht, da ihre Anfangsspannung mit der Belastung wechselt.

Nach der Wahl des günstigsten Spannungsverlustes erhält man den Querschnitt nach der Formel einer einseitig gespeisten Leitung, bei welcher die Stromabgabe am Ende erfolgt.

In Fig. 355 ist ein einfaches Leitungsnetz dargestellt. A und B sind zwei Speisepunkte, C ist die Centrale. Die Belastung des Speisepunktes A beträgt $I = I_1 + i_1 + I_4 + I_5 + I_6$, Fig. 356. Bei der Annahme eines Zweileiternetzes wird z. B. der Leitungsquerschnitt der Speiseleitung $\overline{CA}$.

$$q = \frac{c\,2\,L}{V} \,.\, I \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; 19).$$

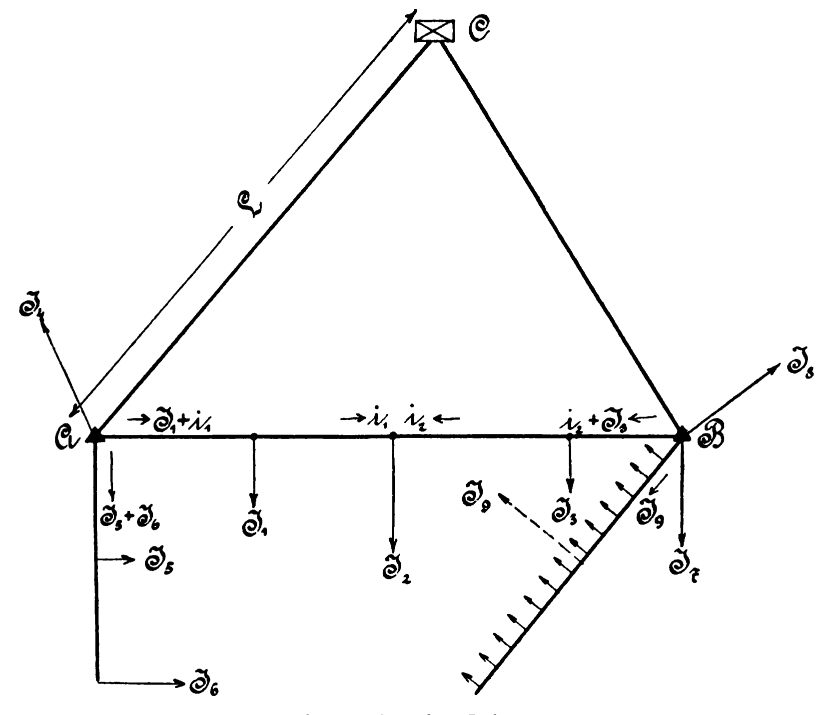


Fig. 355. Einfaches Leitungsnetz.

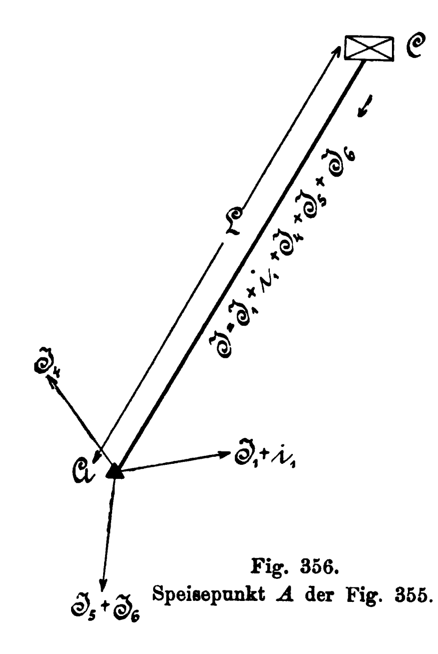


Fig. 356.
Speisepunkt A der Fig. 355.

In gleicher Weise bestimmt man den Querschnitt der Speiseleitung $C\overline{B}$.

d) Ausgleichsleitungen.

Durch plötzliche große Entlastung eines Speisepunktes möchte, bei Nichtanwendung besonderer Vorsichtsmaßregeln, die Spannung desselben in schädlicher Weise steigen, während im entgegengesetzten Falle die Spannung in störender Weise sinken würde. Um nun solche Schwankungen möglichst auszugleichen, trachtet man darnach die Speisepunkte durch kräftige Leitungen derart zu verbinden, dass sie sich

gegenseitig selbstthätig unterstützen. Solche Leitungen nennt man **Ausgleichsleitungen**. Sie bilden die möglichst kürzeste Verbindung der Speisepunkte und sind gewöhnlich gleichzeitig als Vertheilungsleitungen mitbenutzt.

Fig. 357 zeigt eine Leitungsanordnung mit zwei, von der Centrale C gespeisten Speisepunkten A und B, welche normal gleiche Spannung haben. Die Speisepunkte sind mit einander durch eine Ausgleichsleitung verbunden, welche keine Stromabzweigungen besitzt. Die normalen

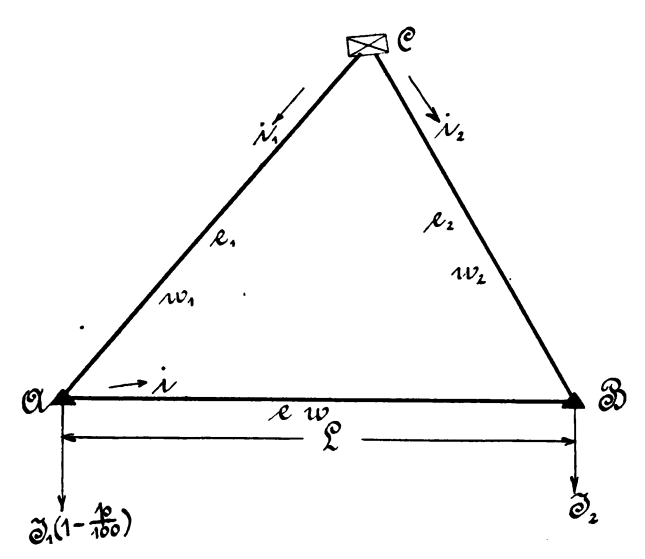


Fig. 357. Zwei von der Centrale C gespeiste Speisepunkte A und B.

Belastungen von A und B sind I_1 und I_2, wobei in der Ausgleichsleitung kein Strom fließt. Angenommen wird, dass der Speisepunkt A eine maximale gleichzeitige Entlastung von $\frac{I_1 p}{100}$ (also p % von I_1) erfährt, während die Stromentnahme bei B konstant bleibt. In A wird daher die Spannung steigen und deshalb nach B ein Strom i abfließen. Die den Speisepunkten zufließende Ströme sind dann:

$$i_1 = I_1\left(1 - \frac{p}{100}\right) + i \qquad \text{und} \qquad i_2 = I_2 - i.$$

Bezeichnet man die Widerstände der Leitungen $\overline{CA}$ mit w_1, $\overline{CB}$ mit w_2 und $\overline{AB}$ mit w, ferner die Spannungsverluste in $\overline{CA}$ mit e_1, $\overline{CB}$ mit e_2 und $\overline{AB}$ mit e, so erhält man

$$e_1 = i_1\, w_1, \qquad e_2 = e_2\, w_2$$

und

$$e = e_1 - e_2.$$

Dieses e soll nun den in den Vertheilungsleitungen zulässigen maximalen Verlust nicht übersteigen.

Die Weiterentwicklung der Rechnung ergibt:

$$e = I_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 + i\,w_1 - I_2\, w_2 + i\,w_2$$

daraus

$$i(w_1 + w_2) = e - I_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 + I_2\, w_2 \quad \text{oder}$$

$$i = \frac{e - I_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 + I_2\, w_2}{w_1 + w_2} \quad \ldots\ldots\ldots \; 20).$$

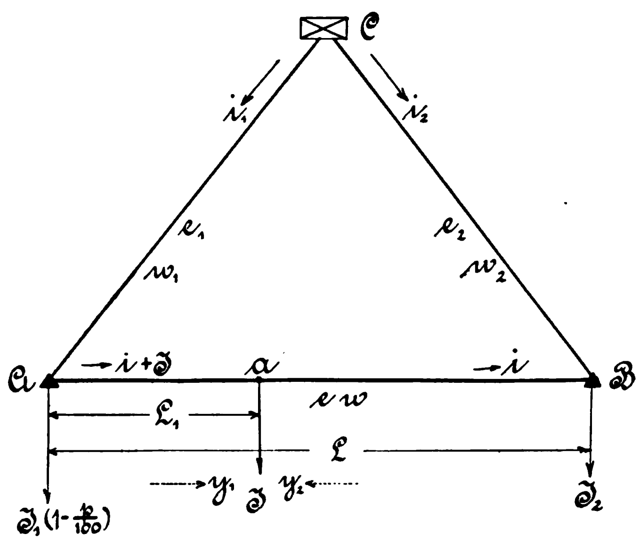


Fig. 358. **Berechnung einer Ausgleichs- und Vertheilungsleitung.**

Da alle Werte der rechten Seite der Gleichung 20) gegeben sind, so ist die Stromstärke i leicht zu berechnen.

Ferner ist $e = i\,w$, woraus man schließlich den Leitungsquerschnitt q ermittelt. So ist z. B. beim Zweileitersystem der Querschnitt

$$q = \frac{c\,2\,L}{e}\, i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \; 21).$$

In analoger Weise soll nachstehend eine Ausgleichsleitung berechnet werden, welche gleichzeitig als Vertheilungsleitung dient. In Fig. 358 ist z. B. eine Ausgleichsleitung $\overline{A\,B}$ angegeben, welche bei a die Stromstärke I abgibt. Bei normaler Belastung sind die Spannungen in den Speisepunkten A und B einander gleich. Dabei liefert Punkt A nach a

die Stromstärke y_1 und Punkt B die Stromstärke y_2. (Die Berechnung erfolgt wie für Fig. 17 oben.) Unter diesen Verhältnissen ist die Gesammtbelastung von Punkt A gleich I_1 und von Punkt B gleich I_2. Die maximale einseitige Entlastung sei nun $I_1 \frac{p}{100}$. Die Spannung von A wird daher steigen und die Stromabgabe nach a auch dementsprechend wachsen. Zur Vereinfachung der Rechnung nehmen wir an, dass die Stromabgabe gegen a so groß sei, dass die Stromstärke I ganz gedeckt werde und außerdem noch ein Strom i nach B abfließt.

Die von der Centrale an die Speisepunkte abzugebenden Ströme sind dann:

$$i_1 = I_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) + (\underbrace{I - y_1}_{= y_2} + i) \quad \text{und} \quad i_2 = I_2 - y_2 - i.$$

Beträgt der Widerstand von $\overline{CA}$ gleich w_1, von $\overline{CB}$ gleich w_2 und von $\overline{AB}$ gleich w, ferner der Spannuugsverlust von $\overline{CA}$ gleich e_1, von $\overline{CB}$ gleich e_2 und von AB gleich e, so ist

$$e_1 = i_1 w_1, \qquad e_2 = i_2 w_2$$

und

$$e = e_1 - e_2$$

wobei e den maximalen Verlust in den Vertheilungsleitungen nicht übersteigen soll.

Setzt man in die letzte Gleichung die oben angeführten Werte ein, so wird:

$$e = I_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 + y_2 w_1 + i w_1 - (I_2 - y_2) w_2 + i w_2$$

und daraus:

$$i (w_1 + w_2) = e - I_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 - y_2 w_1 + (I_2 - y_2) w_2 \quad \text{und}$$

$$i = \frac{e - I_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 - y_2 w_1 + (I_2 - y_2) w_2}{w_1 - w_2} \quad \ldots . \; 22).$$

y_2 wird nach der früher behandelten Rechnung für eine zweiseitig gespeiste Leitung vorher bestimmt. Es sind dann alle Zahlen der rechten Gleichungsseite bekannt. Wird i positiv, so ist die Annahme der Stromvertheilung in der Ausgleichsleitung richtig. Wird i negativ, so bedeutet dies, dass sich an der Stromlieferung nach a beide Speisepunkte betheiligen. Natürlich bleibt trotzdem der ganze Rechnungsvorgang derselbe.

Für die Berechnung des Leitungsquerschnittes von $\overline{AB}$ ist die Formel 13) giltig. Bei einem Zweileiternetz wird z. B.

$$q = \frac{2c}{e} (I L_1 + i L) \; \ldots \ldots \ldots . \; 23).$$

In ähnlicher Weise wie für zwei Speisepunkte bestimmt man die Ausgleichsleitungen für mehrere mit einander verbundene Speisepunkte.

121. Graphische Leitungsbestimmung. Für induktions- und kapacitätsfreie Leitungen ist der Spannungsverlust $v = i\,w$

$$\text{oder } v = i\,\frac{c\,l}{q};$$

statt dieser Gleichung kann man die Proportion setzen: $v : i = l : \frac{q}{c}$.

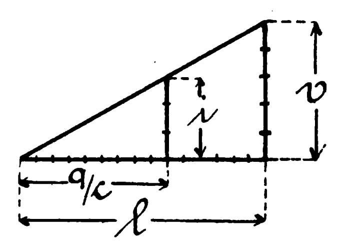


Fig. 359. Graphische Darstellung der Proportion $v : i = l : \frac{q}{c}$.

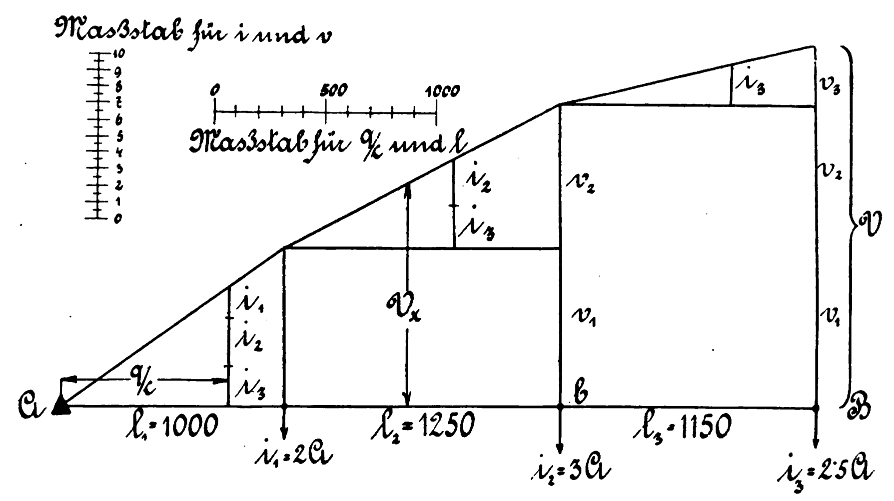


Fig. 360. Leitung, welche von einer Seite Strom erhält und an mehreren Punkten Strom abgibt.

Diese Proportion lässt sich durch zwei ähnliche rechtwinkelige Dreiecke darstellen, Fig. 359. Dabei wählt man zwei beliebige Maßstäbe u. zw. einen gemeinsamen für $\frac{q}{c}$ und l und einen zweiten gemeinsamen für

v und *i*. Sind drei Werte gegeben, so kann man ohneweiters den vierten zeichnerisch bestimmen.

Anwendung auf eine Leitung, welche von einer Seite Strom erhält und an mehreren Punkten Strom abgibt. Der Querschnitt ist durch-

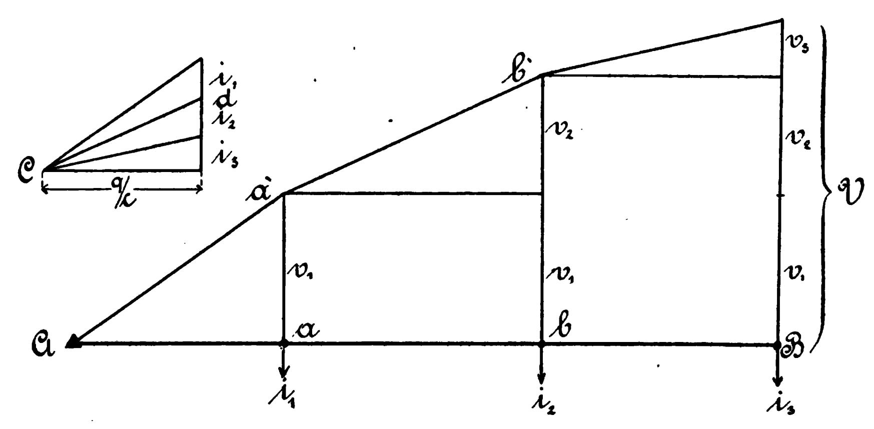


Fig. 361. Vereinfachung der Konstruktion in Fig. 360.

wegs gleich. Gegeben sind die Leitungslängen, der Querschnitt für ein bestimmtes Material und die einzelnen Stromstärken, Fig. 360. $\frac{q}{c} = \frac{15}{0{\cdot}02} = 750$. Gesucht werden die an den verschiedenen Stellen herrschenden Spannungsverluste.

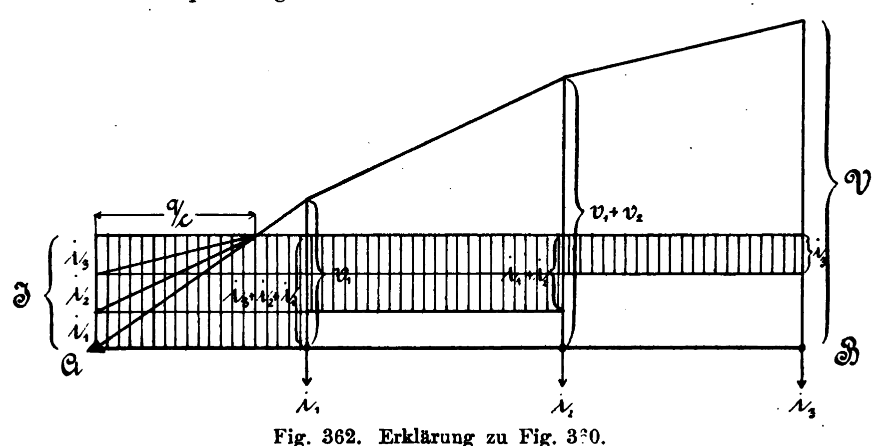


Fig. 362. Erklärung zu Fig. 3?0.

Lösung: Der Verlust von A nach a wird durch die 3 Stromstärken i_1, i_2, i_3 hervorgerufen. Man trägt daher von A aus den Wert von $\frac{q}{c}$ im Längenmaßstabe auf und errichtet im Endpunkte eine

Senkrechte. Die Länge derselben wird $= i_1 + i_2 + i_3$ gemacht und das Dreieck gebildet. Verlängert man die Hypotenuse des Dreieckes so weit, bis sie die im Punkte a errichtete Senkrechte schneidet, so erhält man den Wert von v_1, welchen man nach dem seitlichen Maßstabe absticht.

Der Verlust in b setzt sich aus den vom A nach a und den von a nach b zusammen. Die Hilfsdreiecke sind daher an das zuletzt erhaltene anzufügen und die Konstruktion für die Stromstärke $i_1 - i_3$ durchzuführen. Für die letzte Strecke $b\ B$ ist die gleichartige Konstruktion unter Zugrundelegung der Stromstärke i_3 durchzuführen.

Man erhält dann übereinander die Verluste $v_1 + v_2 + v_3$ und somit den Gesammtwert von A nach B durch die Länge der in c errichteten Senkrechten $= V$. Für einen beliebigen Punkt x der Leitung ist der entsprechende Spannungsverlust durch die Senkrechte vx gegeben.

Anstatt für jeden Abzweigpunkt die Dreieckskonstruktionen separat durchzuführen, kann man eine Vereinfachung in der Weise vornehmen, dass man die gemeinschaftliche Dreieckbasis $\frac{q}{c}$ bloß einmal aufträgt und über derselben die den verschiedenen Stromstärken entsprechenden Dreiecke bildet, Fig. 361.

Das Diagramm der Spannungsverluste erhält man jetzt in der Weise, dass man von A eine Parallele zur Hypotenuse des Stromdreieckes $(i_1 + i_2 + i_3)$ zieht und mit der Senkrechten über a zum Schnitt bringt. Von diesem Schnittpunkt aus wird anschließend eine Parallele zur Hypotenuse des Stromdreieckes $(i_2 + i_3)$ gezogen u. s. w. Die Erklärung für die Richtigkeit dieses Vorganges ist aus Fig. 362 sehr leicht zu entnehmen.

Bei genauerer Betrachtung kann man sich die allgemein giltige Regel bilden, dass die Diagrammlinie zwischen zwei Abzweigstellen zu jener Seite der Hilfsdreiecke parallel ist, welcde zwischen den bezüglichen Stromstärken zum Scheitelpunkte c geführt ist. So ist z. B. $a^1\ b^1$ parallel zu $\overline{c\,d}$.

Dieselben Resultate wie bei vorstehender Ausführung erhält man, wenn die Dreieckkonstruktion in umgestürzter Anordnung benützt wird. Diese Lösung ist in Fig. 362 ersichtlich gemacht.

Diese Darstellungsart hat den Vortheil, dass man in dieselbe gleichzeitig das Diagramm des Strommverlustes in einfacher und übersichtlicher Weise einführen kann, indem man von der Stromlinie die eingezeichneten Horizontalen zieht.

Schließlich ist es noch erlaubt anstatt der rechtwinkligen Hilfsdreiecke, schiefwinklige zu verwenden, deren gemeinsame Höhe gleich

$\frac{q}{c}$ ist. Diese Durchführung ist aus Fig. 363 zu erkennen und nach obigem ohneweiters verständlich.

Bei einer Leitung, deren einzelne Theile verschiedene Querschnitte haben, ist der Wert $\frac{q}{c}$ veränderlich. Demgemäß sind für

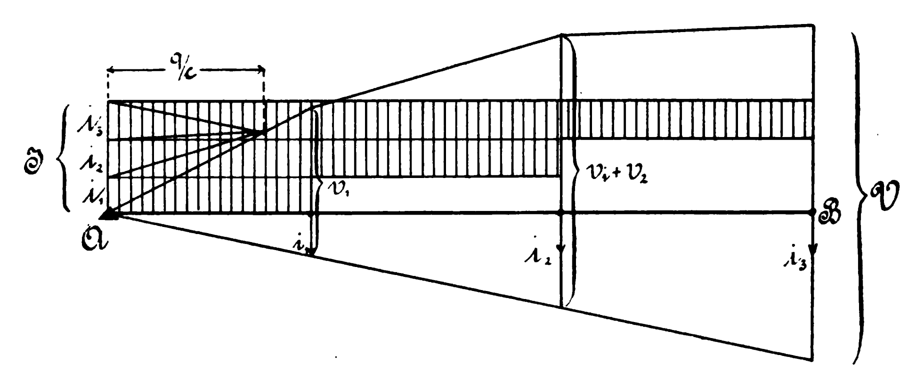


Fig. 363. Einführung schiefwinkeliger Hilfsdreiecke.

Fig. 364. Leitung mit verschiedenen Querschnitten.

die graphische Lösung verschiedenartige Hilfsdreiecke anzuwenden. In Fig. 364 z. B. für das Leiterstück $\overline{A\ b}$ vom Querschnitt q_1 die Dreieckshöhe $\frac{q^1}{c}$ und für das Leiterstück $\overline{b\ B}$ vom Querschnitte q_2 die Dreieckshöhe $\frac{q_2}{c}$ angenommen.

Anwendung der graphischen Methode auf eine Leitung, welche von 2 Seiten mit gleicher Spannung gespeist wird und in mehreren Punkten Strom abgibt. Der einfacheren Darstellung wegen nehmen wir, Fig. 365, durchwegs gleichen Querschnitt an. Der Vorgang ist ähnlich wie bei Fig. 363.

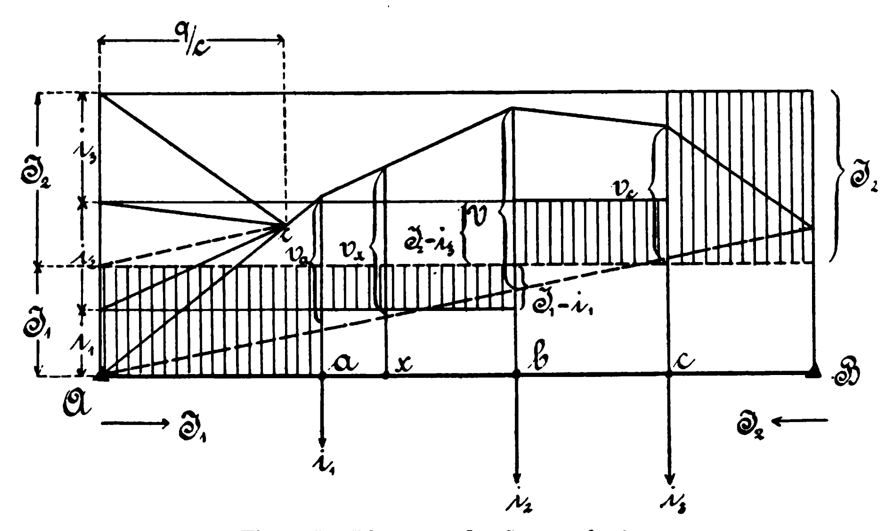


Fig. 365. Diagramm des Stromverlaufes.

Auf die ausgestreckte Leitung errichtet man in den Abzweigpunkten senkrechte Linien. Die Hilfsdreiecke werden, wie früher mit der gemeinsamen Höhe $\frac{q}{c}$ konstruiert und zu ihren Seiten parallele Linien zwischen den entsprechenden Senkrechten gezogen.

Nachdem die Punkte A und B als Speisepunkte den Verlust Null aufweisen, muss die strichlierte Verbindungslinie zwischen A und B das Diagramm abschließen. Der Verlust vx in einem beliebigen Punkte x der Leitung ist dann gleich demjenigen Stück der in x errichteten Senkrechten, welches innerhalb des Diagrammes liegt. Zieht man vom Scheitelpunkte c der Hilfsdreiecke eine Parallele zur Abschlusslinie des Diagrammes, so wird die Summe der Stromstärken in die von den Speisepunkten zu liefernden Ströme I_1 und I_2 zerlegt.

In Fig. 365 ist ferner noch das Diagramm des Stromverlaufes dargestellt.

Diese Beispiele dürften genügen, um für andere Belastungsarten der Leitungen die bezüglichen Diagramme ausbilden zu können.

122. Graphische Berechnung einer Wechselstromanlage mit induktiver Belastung. Während bei induktionsfreier Wechselstrom-Belastung des Leitungsnetzes (Induktionslose Widerstände, Glüh- und Bogenlampen ohne Drosselschulen, Synchronmotoren bei normaler Erregung, vollbelastete Wechselstromtransformatoren) der Spannungsverlust wie bei Gleichstrom gleich dem Ohm'schen Verluste ist, muss bei induktiver Belastung (Induktive Widerstände, Drosselspulen, Synchronmotoren bei geringer Erregung, Asynchronmotoren, schwach belastete Wechselstromtransformatoren) außer dem Ohmschen Spannungsverluste noch der Spannungsverlust durch Selbstinduktion berücksichtigt werden.

Infolge der Selbstinduktion wird jedoch kein Arbeitsverlust veranlasst, sondern nur eine entsprechende Spannungserhöhung an der Stromquelle erforderlich. Beim Drehstromsystem ist der Einfluss der Induktion am geringsten. Die Wirkung wird am günstigsten, wenn die drei Drähte gleichweit gegenseitig von einander entfernt sind. Ebenso erweist sich das offene Zweiphasensystem als vortheilhaft. Beim verketteten Zweiphasensystem und wechselnden Belastungen kann die Regulierung nur schwer so erfolgen, dass am Ende desselben beide Phasen gleiche Spannungen behalten. Bei kleineren Anlangen mit geringeren Stromstärken ist der Einfluss der Selbstinduktion gering, bei Anlagen mit langen Fernleitungen [1]) oder hohen Stromstärken dagegen groß.

Sind die Fernleitungen sehr lang und die Betriebsspannungen sehr hoch, dann muss auch die Kapacität berücksichtig werden.

Bei Kabeln, in welchen Hin- und Rückleitung vereint sind, ist kein Induktionsverlust zu rechnen. Die nachfolgenden Berechnungen gelten daher nur für getrennte Einzelleitungen.

Der Ohm'sche Spannungsverlust ändert sich mit der wirksamen Stromstärke in gleicher Phase, der Selbstinduktionsverlust ist gegen die Stromstärke um 90° verschoben (I. Th. 1. B. S. 126).

Der Ohm'sche Spannungsverlust beträgt für eine Gruppe: für einphasigen Wechselstrom

$$v_1 = 2\, I_1\, w_1 \quad \ldots\ldots \quad 1)$$

und für dreiphasigen Wechselstrom

$$v_2 = \sqrt{3}\, I_2\, w_2 \text{ (oder nach früherer Angabe } v_2 = I w_2) \quad . \; . \quad 2),$$

[1]) Josef Sartori, Elektrotechnischer Neuigkeitsanzeiger und maschinentechn. Rundschau, 1900, S. 41 ff.

wobei I_1 I_2 die Stromstärke für einen Leiter und w_1 w_2 die Widerstände für einen Leiter bedeuten ($\sqrt{3}\, I_2 = I =$ Gesammtstrom für alle drei Gruppen).

Der Spannungsverlust durch Selbstinduktion beträgt für eine Gruppe: für einphasigen Wechselstrom

$$v_3 = 2\, k \,.\, n \,.\, I_3 \,.\, l_3 \quad \ldots \ldots \quad 3)$$

und für dreiphasigen Wechselstrom

$$v_4 = \sqrt{3}\, k \,.\, n \,.\, I_4 \,.\, l_4 \quad \ldots \ldots \quad 4.),$$

wobei k eine vom Leitungsquerschnitt abhängige Konstante, n die Periodenzahl, I_3 I_4 die Stromstärken für einen Leiter und l_3 l_4 die Länge für einen Leiter in Kilometern bedeuten.

Angefügte Tabelle enthält für einige häufig benützte Querschnitte die Werte für k.

Querschnitt q in mm^2	Konstante k
6	0·00763
10	0·00733
16	0·00700
25	0·00675
35	0·00653
50	0·00631
70	0·00610
95	0·00590

Unter Benützung der vorstehenden Erörterungen soll an einem Zahlenbeispiel für eine Freileitung die graphische Bestimmung der zu suchenden Werte entwickelt werden.

Von einem Drehstrom-Generator soll in einer Entfernung von 1000 Meter an eine Verbrauchsstelle Kraft- und Lichtstrom von 500 Volt Spannung und 50 Perioden in der Sek. abgegeben werden. Der Kraftstrom wird von einem Motor aufgenommen, welcher bei einem Nutzeffekt von 90% 50 PS. eff. zu leisten hat. Daher ist der dafür entfallende Arbeitsbedarf

$$A_K = \frac{50 \cdot 736 \cdot 100}{1000 \cdot 90} \cong 41 \text{ Kilowatt.}$$

Bei einer Phasenverschiebung von $\cos \varphi_K = 0{\cdot}85$ erhält man somit für einen Leiter die Stromstärke

$$I_K = \frac{41 \,.\, 1000}{\sqrt{3} \,.\, 500 \,.\, 0{\cdot}85} \cong 56 \text{ Ampère.}$$

Der Lichtstrom dient zur Speisung mehreren Bogenlampengruppen, wofür 25 Kilowatt entfallen sollen.

Nimmt man eine Phasenverschiebung von $\cos \varphi_L = 0{\cdot}95$ an, so ergibt sich für einen Leiter die Stromstärke

$$I_L = \frac{25 . 1000}{\sqrt{3} . 500 . 0{\cdot}95} \cong 30 \text{ Ampère.}$$

Die beiden Stromstärken setzen sich zu einer Resultierenden zusammen, deren Größe und Phasenverschiebung man folgenderart nach der bekannten Diagrammethode (I. Th., 1. B., S. 120) findet.

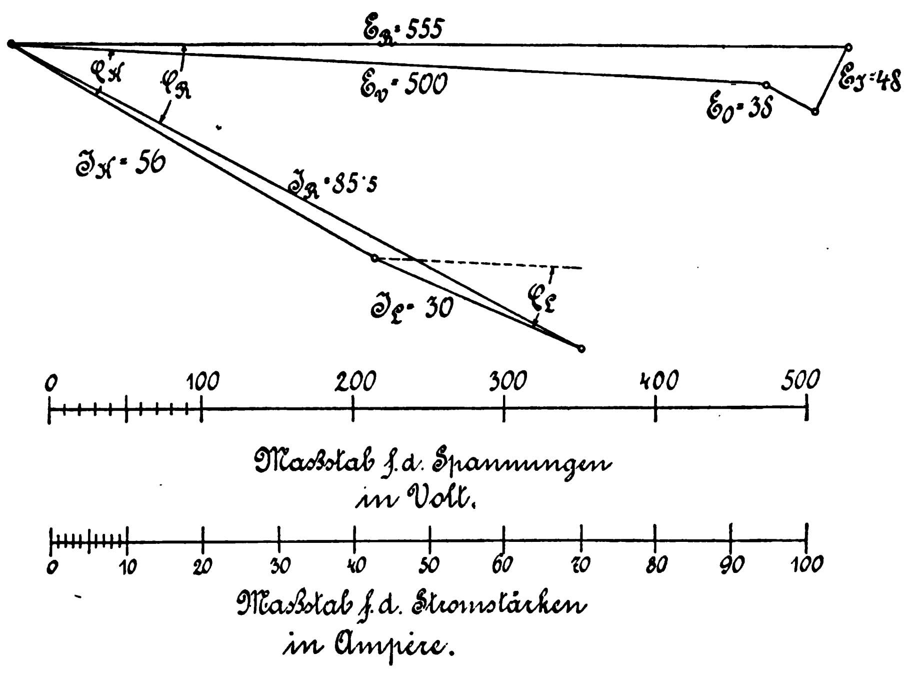


Fig. 366. Wechselstromanlage mit induktiver Belastung.

In Fig. 366 stellt E_V die Gruppen-Spannung von 500 Volt am Verbrauchsorte dar. Gegen diese, um den Winkel φ_K verschoben, ist die Stromstärke I_K aufzutragen, an welche die Stromstärke I_L sich anschließt. Letztere ist gegen E_V um den Winkel φ_L verschoben. Die Verbindungslinie zwischen Anfang I_K und Ende I_L repräsentiert dann die für einen Leiter resultierende Stromstärke I_R nach Größe und Richtung. In unserem Falle ist

$$I_R = 85{\cdot}5 \text{ Ampère.}$$

Diese Größe ist für die Berechnung der Leitungen und des Generators maßgebend.

Angenommen sei, dass die Leitung ohne Berücksichtigung der Selbstinduktion, für einen Ohm'schen Gruppen-Spannungsverlust E_O von 7% zu berechnen ist. Es wird dann:

$$E_O = \left(\frac{500}{0\cdot93} - 500\right) \cong 38 \text{ Volt.}$$

Nach der Formel 2) ist ferner:

$$E_O = \sqrt{3} \, . \, I_R \, . \, w$$

oder:

$$38 = 1{,}73 \, . \, 85\cdot5 \, . \, \frac{1000}{57 \, . \, q},$$

wobei w der Widerstand für einen Leiter und q der Querschnitt eines Leiters ist. Man erhält somit:

$$q = 68 \; mm^2.$$

Den Sicherheitsvorschriften würde ein Querschnitt von 50 mm^2 genügen. Wir wählen den Fabrikationsquerschnitt

$$\underline{q = 70 \; mm^2}$$

Der Energieverlust beträgt für das ganze System nach dem Joule'schen Gesetz $= 3 \, I_R^2 \, . \, w = 5496$ Watt.

Weiters findet man den Selbstinduktionsverlust (E_S) für eine Gruppe nach der Formel 4) mit:

$$E_S = \sqrt{3} \, . \, k \, . \, n \, . \, I_R \, . \, l.$$

Aus der Tabelle entnehmen wir für $q = 70 \; mm^2$ die Konstante $k = 0\cdot0061$. Laut Angabe ist die Periodenzahl $n = 50$ und die Länge eines Leiters $l = 1 \; km$. Darnach ist:

$$E_S = 1\cdot73 \, . \, 0\cdot0061 \, . \, 50 \, . \, 85\cdot5 \, . \, 1 \text{ und}$$

$$E_S = 45 \text{ Volt.}$$

Rechnet man bei einer gegenseitigen Leitungsentfernung von 600 mm die gegenseitige Induktion mit 7% der Selbstinduktion, so erhält man den gesammten Induktionsverlust:

$$E_J = 45 + 3 = 48 \text{ Volt.}$$

Die Wirkungen der Leitungskapacität können, wie bereits erwähnt, in vorliegendem Falle unberücksichtigt bleiben.

Um nunmehr die Spannung zu bestimmen, welche beim Generator zu halten ist, wird in Fig. 366 parallel zur wirksamen Stromstärke I_R und anschließend an E_V der Ohm'sche Verlust E_O aufgetragen. An diesen anschließend, jedoch unter 90° zu I_R, trägt man den Induktionsverlust E_J auf. Die Verbindungslinie zwischen Anfang E_V und Ende E_J stellt dann die beim Generator nothwendige Gruppenspannung E_R nach Größe und Richtung dar. In unserem Falle ist

$$E_R \cong 555 \text{ Volt.}$$

Zwischen der Spannung E_R und der Stromstärke I_R findet man eine Phasenverschiebung von

$$\cos \varphi_R = 0{\cdot}87.$$

Der Generator muss für eine Leistungsfähigkeit von:

$$L_R = \sqrt{3} \, . \, I_R \, . \, E_R = 1{\cdot}73 \, . \, 85{\cdot}5 \, . \, 555$$

$$L_R = 82093 \text{ Watt}$$

gebaut sein. Diese Leistung A_R heißt man die scheinbare, weil sie vom Generator nur bei $\cos \varphi = 1$ abgegeben wird. Man findet dieselbe auch, indem man für die Stromstärke und die Spannung getrennte Messungen vornimmt. Die wirkliche Leistung, welche vom Wattmeter angezeigt wird und welche für die Größenbestimmung des Antriebsmotors maßgebend ist, berechnet man aus der scheinbaren Leistung durch Multiplikation der letzteren mit $\cos \varphi$.

Zum Antrieb des vorstehend berechneten Generators sind, bei einem Nutzeffekt desselben von 90%, an Pferdestärken nothwendig:

$$\frac{L_R \, . \cos \varphi}{736} \, . \, \frac{100}{90} = \frac{82093 \, . \, 0{\cdot}87}{736} \, . \, \frac{100}{90} \cong 108 \textit{ PS. eff.}$$

123. Wechselstromformeln mit Bezug auf die Fig. 320 bis 322, jedoch mit den

geänderten Bezeichnungen:

L = Leistung,

E = Betriebsspannung an den Klemmen des Generators,

I = Stromstärke für einen Draht der Leitung.

Dann ist

$\frac{E}{\sqrt{3}}$ = Spannung an einer Lampengruppe bei Sternschaltung und

$\frac{I}{\sqrt{3}}$ = Stromstärke einer Lampengruppe bei Dreieckschaltung.

A. Leistung L bei induktionsfreier Belastung.

I. Einphasenstrom.

1. $L = E\,I$ sowie bei Gleichstrom.

II. Zweiphasenstrom.

2. $L = 2\,E\,I.$

III. Dreiphasenstrom.

3. $L = 3 \, . \, \frac{E}{\sqrt{3}} \, . \, I =$ Leistung in den Lampengruppen, giltig für Sternschaltung.

4. $L = 3 \, . \, E \, . \, \frac{I}{\sqrt{3}} =$ Leistung in den Lampengruppen, giltig für Dreieckschaltung.

5. $L = \sqrt{3} . E\, I =$ Leistung in den Leitungen, giltig für Stern- und für Dreieckschaltung. (Siehe Erklärung zu Fig. 321 und 322.)

Man sieht sofort, dass, abgesehen von einem etwaigen Spannungsverluste, die letzten drei Werte für L einander gleich sind. Daraus ergibt sich die selbstverständliche Folgerung, dass bei jedem Dreiphasensysteme (Stern- oder Dreieckschaltung) die Leistung in den Leitungen gleich ist der Leistung in den Lampengruppen, dass also auch die 5 Formel richtig sein muss. Die Richtigkeit der 3. und 4. Formel ergibt sich aus den Schaltungsschemen der Stern- und Dreieckschaltung durch eine selbstverständliche Überlegung. Die Leistung einer Lampengruppe ist gleich der Spannung mal der Stromstärke einer Lampengruppe, die Leistung von drei Lampengruppen muss drei mal so groß sein.

Die Formeln 1 bis 5 sind mit dem Leistungsfaktor $\cos\varphi$ (I Th. 1 B. S. 123) zu multiplicieren, wenn die Belastung induktiv ist. Dann erhält man die Leistungen:

1. $L = E\, I \cos\varphi$. Einphasenstrom
2. $L = 2\, E\, I \cos\varphi$. Zweiphasenstrom.
3. $L = 3 \frac{E}{\sqrt{3}} I \cos\varphi$ Sternschaltung (Lampengruppenleistung).
4. $L = 3\, E \frac{I}{\sqrt{3}} \cos\varphi$ Dreieckschaltung (Lampengruppenleistung).
5. $L = \sqrt{3} . E\, I \cos\varphi$ Stern- oder Dreieckschaltung (Leistung in den Leitungen).

In diesen Formeln nennt man die Produkte $E\, I$, $2\, E\, I$, $3 \frac{E}{\sqrt{3}} I$, $3 E \frac{I}{\sqrt{3}}$ und $\sqrt{3}\, E\, I$ die scheinbaren Leistungen, dagegen die Produkte $E\, I \cos\varphi$, $2\, E\, I \cos\varphi$, $3 \frac{E}{\sqrt{3}} I \cos\varphi$, $3\, E \frac{I}{\sqrt{3}} \cos\varphi$ und $\sqrt{3}\, E\, I \cos\varphi$ die wirklichen Leistungen. Die scheinbaren Leistungen misst man mit einem Spannungs- und mit einem Stromzeiger. Die Produkte aus den Ablesungen an diesen beiden Instrumenten geben die scheinbaren Leistungen. Die wirklichen Leistungen gibt ein Leistungszeiger (Wattmeter) an. Es ist sofort klar, dass man die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung (I. Th, 1. B. S. 116) aus der Beziehung erhält:

$$\frac{\text{Wirkliche Leistung}}{\text{Scheinbare Leistung}} = \frac{E\, I \cos\varphi}{E\, I} = \cos\varphi.$$

Für die Abmessungen der Wechselstrommaschinen ist die scheinbare, für den zum Antrieb erforderlichen Kraftverbrauch dagegen die wirkliche Leistung maßgebend.

Die Ermittelung des Leistungsfaktors erfordert demnach:

1. Die Ermittelung der wirklichen Leistung. Schaltet man in den Wechselstromkreis einen Leistungszeiger, so gibt derselbe die wirkliche Leistung an. Diese ist bei Einphasenstrom $E\,I\,\cos\varphi$, bei Zweiphasenstrom $2\,E\,I\,\cos\varphi$ u. s. w. Bei gleichmäßiger Belastung des Systemes oder bei entsprechender Schaltung genügt immer ein Leistungszeiger. Bei gleichmäßiger Belastung hat man die Angaben des Instrumentes mit eins (Einphasenstrom), mit zwei (Zweiphasenstrom) oder mit drei (Dreiphasenstrom) zu multiplicieren.

2. Die Ermittelung der scheinbaren Leistung. Misst man mit einem Spannungszeiger die Volt E, mit einem Stromzeiger die Ampère I, so gibt das Produkt aus diesen beiden Ablesungen die scheinbare Leistung $E\,I$.

3. Ermittelung des Leistungsfaktors. Man erhält den Leistungsfaktor, indem man den Quotienten

$$\frac{E\,I\,\cos\varphi}{E\,I} = \cos\varphi \text{ bildet.}$$

$\cos\varphi$ = Leistungsfaktor.

Der Leistungsfaktor hängt von der Art der Belastung ab. Bei reiner Lichtbelastung ist derselbe nahezu = 1; er wird immer kleiner, je größer die induktive Belastung erscheint.

Leistungsfaktor $\cong$ 1 bei Lichtbelastung.
„ „ 0·8 bei überwiegender Motorenbelastung.
„ „ 0·7 bei Motorenbelastung.

B. Mechanische Leistungen in *PS.* (Pferdestärken), welche zum Antrieb der Wechselstrommaschinen erforderlich sind.

I. Einphasenstrom.

1. Reiner Lichtbetrieb:

$$PS. = \frac{\text{Spannung} \times \text{Stromstärke} \times \text{Leistungsfaktor}}{600} = \frac{E\,.\,I\,.\,1}{600}$$

sowie bei Gleichstrom.

2. Licht- und Motorenbetrieb:

$$PS. = \frac{\text{Spannung} \times \text{Stromstärke} \times \text{Leistungsfaktor}}{600} = \frac{E\,.\,I\,.\,0{\cdot}8}{600}.$$

3. Motorenbetrieb:

$$PS. = \frac{\text{Spannung} \times \text{Stromstärke} \times \text{Leistungsfaktor}}{600} = \frac{E\,.\,I\,.\,0{\cdot}7}{600}.$$

II. Zweiphasenstrom.

1. Reiner Lichtbetrieb:

$$PS. = \frac{2 \times \text{Spannung} \times \text{Stromstärke}}{600} = \frac{2\,E\,.\,I\,.}{600}.$$

2. Licht- und Motorenbetrieb

$$PS. = \frac{2 \times \text{Spannung} \times \text{Stromstärke} \times 0{\cdot}8}{600} = \frac{2\,E\,.\,I\,.\,0{\cdot}8}{600}.$$

3. Motorenbetrieb:

$$PS. = \frac{2 \times \text{Spannung} \times \text{Stromstärke} \times 0{\cdot}7}{600} = \frac{2\,E\,.\,I\,.\,0{\cdot}7}{600}.$$

III. Dreiphasenstrom.

1. Reiner Lichtbetrieb:

$$PS. = \frac{1{\cdot}73 \times \text{Spannung} \times \text{Stromstärke}}{600} = \frac{1{\cdot}73\,.\,E\,.\,I}{600}.$$

2. Licht- und Motorenbetrieb

$$PS. = \frac{1{\cdot}73 \times \text{Spannung} \times \text{Stromstärke} \times 0{\cdot}8}{600} = \frac{1{\cdot}73\,.\,E\,\,I\,.\,0{\cdot}8}{600}.$$

3. Motorenbetrieb:

$$PS. = \frac{1{\cdot}73 \times \text{Spannung} \times \text{Stromstärke} \times 0{\cdot}7}{600} = \frac{1{\cdot}73\,.\,E\,.\,I\,.\,0{\cdot}7}{600}.$$

In diesen Formeln wurde eine Pferdestärke anstatt mit 736 mit 600 Watt angenommen, weil zum Antrieb der Wechselstrommaschine mehr Pferdestärken aufgewendet werden müssen, als sie abgibt. Man muss deshalb die Leistung durch eine kleinere Zahl als 736 dividieren, damit mehr Pferdestärken heraus kommen. Da $600 = 736\,.\,\frac{81{\cdot}5}{100}$, so entspricht die Zahl 600 einem Güteverhältnisse von $81{\cdot}5\,\%$, d. h. es gehen $18{\cdot}5\,\%$ der erforderlichen mechanischen Leistung in der Wechselstrommaschine verloren. Bei Maschinen unter 2 *PS.* ist das Güteverhältnis ungünstiger, bei sehr großen Maschinen dagegen günstiger.

C. Die von der Dynamo an Elektromotoren abgegebenen, beziehungsweise von den letzteren geleisteten Pferdestärken. Die Elektromotoren leisten weniger, als die Dynamo. Man muss deshalb die von der Dynamo erzeugten Watt durch eine größere Zahl dividieren, als durch 736. Gewöhnlich wählt man für größere Leistungen die Zahl 800. $800 = 736\,.\,\frac{108{\cdot}7}{100}$; das sind $108{\cdot}7\,\%$ von 736, d. h. die Motoren leisten $8{\cdot}7\,\%$ weniger als die Dynamo abgibt oder das Güteverhältnis, ist $91{\cdot}3\,\%$.*)

*) Ähnlich muss man bei einem Güteverhältnisse von $77{\cdot}7\,\%$ durch 900 dividieren.

Somit ergeben sich für die Leistungen der Elektromotoren die Formeln:

I. Einphasenstrom.

1. Reiner Lichtbetrieb: $PS. = \frac{E \cdot I}{800}$ sowie bei Gleichstrom.

2. Licht- und Motorenbetrieb: $PS. = \frac{E \cdot I \cdot 0{\cdot}8}{800}$.

3. Motorenbetrieb: $PS. = \frac{E \cdot I \cdot 0{\cdot}7}{800}$.

II. Zweiphasenstrom.

1. Reiner Lichtbetrieb: $PS. = \frac{2 \cdot E \cdot I}{800}$.

2. Licht- und Motorenbetrieb: $PS. = \frac{2 \cdot E \cdot I \cdot 0{\cdot}8}{800}$.

3. Motorenbetrieb: $PS. = \frac{2 \cdot E \cdot I \cdot 0{\cdot}7}{800}$.

III. Dreiphasenstrom.

1. Reiner Lichtbetrieb: $PS. = \frac{1{\cdot}73 \cdot E \cdot I}{800}$.

2. Licht- und Motorenbetrieb: $PS. = \frac{1{\cdot}73 \cdot E \cdot I \cdot 0{\cdot}8}{800}$.

3. Motorenbetrieb: $PS. = \frac{1{\cdot}73 \cdot E \cdot I \cdot 0{\cdot}8}{800}$.

124. **Wechselstrombeispiele** mit Bezug auf die Fig. 320 bis 322.

1. Beispiel (Fig. 321). Sternschaltung. Gegeben: Stromstärke in jeder Leitung 20 Ampère, Spannung zwischen zwei Leitungen 130 Volt. In Frage:

a) Stromstärke in einer Lampengruppe. 20 Ampère, weil bei der Sternschaltung die Stromstärke in einer Leitung = der Stromstärke in einer Lampengruppe.

b) Lampenspannung. 130 : 1·73 = 75 Volt.

c) Leistung.

3.75.20 = 4500 Watt. Dreimal Lampenspannung mal Strom einer Lampengruppe oder 1·75.130.20 $\cong$ 4500 Watt. 1·73mal Spannung zwischen den Leitern mal Strom in einem Leiter.

d) Die zum Antrieb der Drehstrommaschine erforderlichen *PS.* bei 81·5% Güteverhältnis derselben.

$$\frac{4500}{736} \cdot \frac{100}{81{\cdot}5} \cong \frac{4500}{600} \cong 7{\cdot}5 \; PS.$$

e) *PS.* welche eingeschaltete Elektromotoren bei einem Güteverhältnisse von 77·7% abzugeben vermögen.

4500 : 900 = 5 *PS.*

f) Gesammtgüteverhältnis der Anlage.

5 : 7·5 = 0·6 oder rund 67%.

2. Beispiel. Dreieckschaltung (Fig. 322). Gegeben: Stromstärke in jeder Leitung 20 Ampère, Spannung zwischen zwei Leitungen 130 Volt.

a) Stromstärke einer Lampengruppe.

20 : 1·73 = 11·55 Ampère.

b) Lampenspannung. Bei der Dreieckschaltung ist die Spannung zwischen je zwei Leitungen = der Spannung zwischen jeder Lampengruppe, bezw. Lampe, also 140 Volt.

c) Leistung.

3 . 130 . 11·55 ≌ 4504 Watt oder

1·73. 130. 20 ≌ 4503 Watt sowie bei der Sternschaltung.

Die beiden Werte 4504 und 4503 rund 4500 stimmen nicht genau überein, weil mit rund 1·73 anstatt richtiger $\sqrt{3} = 1·7321$ multipliciert wurde.

d) Die zum Antrieb der Drehstrommaschine erforderlichen *PS.* bei 81·5% Güteverhältnis der Drehstrommaschine.

4500 : 600 = 7·5 *PS.* sowie bei den Sternschaltungen.

e) *PS.*, welche eingeschaltete Elektromotoren bei einem Güteverhältnisse von 77·7% abzugeben vermögen.

4500 : 90 = 5 *PS.* sowie bei der Sternschaltung.

f) Gesammtgüteverhältnis der Anlage.

5 : 7·5 = $0·\dot{6}$ oder rund 67% sowie bei der Sternschaltung.

3. Beispiel. Sternschaltung (Fig. 321). Gegeben: Stromstärke in jeder Lampengruppe 23 Ampère, Spannung an jeder Lampengruppe, bezw. Lampe 130 Volt, Spannungsverlust in jeder Leitung 2 Volt, Entfernung zwischen Drehstrommaschine und den Lampen 200 *m*.

a) Spannung zwischen den Leitern.

130 . 1·73 ≌ 225 Volt.

b) Spannungsunterschied zwischen den Klemmen der Dreiphasenmaschine.

225 Volt + 4 Volt Spannungsverlust in jeder Leitung = 229 Volt.

c) Querschnitt der Leitungen. Die 4 Volt Spannungsverlust vertheilen sich stets auf zwei Leitungen, d. h. es gehen in jeder Leitung 2 Volt verloren. Wenn e = Spannungsverlust, i = Stromstärke in jedem Leiter, w = Widerstand eines Leiters, so ist nach dem Ohm'schen Gesetze (I. Th., 1. B., S. 24.)

$$w = \frac{e}{i} = \frac{2}{23} \text{ Ohm und (I. Th., 1. B., S. 17)}$$

$$q = \frac{c \,.\, l}{w} = \frac{0·017 \,.\, 200 \,.\, 23}{2} = 39\ mm^2.$$

4. Beispiel. Dreieckschaltung (Fig. 322). Gegeben: Stromstärke in jeder Lampengruppe 23 Ampère, Spannung an jeder Lampengruppe 130 Volt, Spannungsverlust zwischen Dyname und Lampen 4 Volt, Entfernung zwischen Dynamo und Lampen 200 *m*.

a) Stromstärke zwischen den Leitungen.

23 . 1·73 ≌ 40 Ampère.

b) Klemmenspannuug der Dreiphasenmaschine.

130 Volt + 4 Volt Spannungsverlust = 134 Volt.

c) Querschnitt der Leiter.

$$w = \frac{2}{40}$$

$$q = \frac{c\, l}{w} = 0·017 \,.\, 200 \,.\, \frac{40}{2} = 68\ mm^2.$$

Folgerung. Aus den Beispielen folgt, dass sich die Querschnitte bei Stern- und Dreieckschaltung verhalten wie

$68 : 39 = \sqrt{3} : 1.$

Sind die Zweige bei der Sternschaltung nicht gleichmäßig belastet, so wird ein vierter Leiter, eine sogenannte Knotenpunktsrückleitung, erforderlich. Dieser letztere Leiter ist in der Fig. 321 gestrichelt dargestellt. Mit Berücksichtigung des vierten Leiters erhalten wir:

Sternschaltung $4 . 39 = 156\ mm^2$.

Dreieckschaltung $3 . 68 = 204\ mm^2$ und somit

$204 : 156 = 3\sqrt{3} : 4.$

Es genügt jedoch den vierten Leiter halb so stark zu wählen. Dann ergeben sich

$3 . 39 + 0{\cdot}5 . 39 = 136{\cdot}5\ mm^2$ oder

$204 : 136 = 3\sqrt{3} : 3{\cdot}5.$

5. Beispiel. Dieselbe Leistung sei auf dieselbe Entfernung mit Einphasenstrom zu übertragen.

a) Leistung.

$130 . 40\sqrt{3} = 8996$ Watt.

b) Stromstärke bei 130 Volt.

$8996 : 130 = 69{\cdot}2$ Ampère oder

$40\sqrt{3} = 69{\cdot}2$ Ampère.

$$w = \frac{2}{69}; \qquad q = \frac{0{\cdot}017 . 200 . 69}{2} = 117{\cdot}3\ mm^2.$$

und der Querschnitt beider Leiter $= 2 . 117 . 3 = 234{\cdot}6\ mm^2$.

Unter Zugrundelegung der obigen Rechnungen ergeben sich die folgenden Kupferquerschnitte:

1. Dreieckschaltung: $3 . 68 = 204\ mm^2$.

2*a*. Sternschaltung ohne vierten Leiter: $3 . 39 = 117\ mm^2$.

2*b*. Sternschaltung m. viertem Leiter bei vollem Querschnitte: $156\ mm^2$.

2*c*. Sternschaltung m. viertem Leiter bei halbem Querschnitte: $136\ mm^2$.

3. Einphasenstrom: $234\ mm^2$.

Das Leitungsnetz einer Drehstrom-Centrale hat daher einen geringeren Querschnitt, als jenes einer Centrale mit einphasigem Wechselstrom.

Bemerkung. In den letzten Beispielen wurde eine induktionsfreie Belastung (Glühlampen) vorausgesetzt. Bei induktiver Belastung wären die obigen Leistungen mit dem Leistungsfaktor zu multiplicieren (§ 123).

125. Wellenstrom. Fließen Gleich- und Wechselstrom gleichzeitig in einer gemeinsamen Leitung, dann ergibt sich der Spannungsabfall für jede Stromart, als wenn die andere nicht vorhanden wäre. Man bezeichnet solche Ströme als Wellenströme.[1])

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik, 1899, Seite 325.

Elektrotechnischer Neuigkeitsanzeiger und maschinentechnische Rundschau, 1900, Seite 82 und 1901, Seite 59.

Elektrotechnische Zeitschrift, 1901, Seite 510 und 527.

126. Beispiel über die Berechnung einer Leitungsanlage für ein kleines Elektricitätswerk. In Figur 367 ist der Leitungsplan für ein kleines Elektricitätswerk dargestellt. A und B sind die Speisepunkte, welche gegenseitig auf möglichst gleicher Spannung erhalten werden sollen. Die strichliert gezeichneten Leitungen bedeuten die Speiseleitungen, die vollgezeichneten, die Vertheilungsleitungen. Die Strecke $\overline{A\,7\,B}$ ist als Ausgleichsleitung anzunehmen. Die eingetragenen Pfeile zeigen die jeweiligen Stromabzweigstellen.

Der Berechnung wird das Gleichstrom-Dreileitersystem mit 2×150 Volt Consumspannung zugrunde gelegt. Bei einem Spannungsverlust von 2% in den Vertheilungsleitungen und 8% in den Speiseleitungen, sind beim Normalbetrieb in den Speisepunkten

$$= \frac{2 \times 150 \times 100}{98} \cong 306 \text{ Volt}$$

und in der Centrale

$$= \frac{2 \times 150 \times 100 \times 100}{98 \times 92} \cong 332 \text{ Volt}$$

Außenspannung zu halten.

Der Verlust in den Außenleitern ist sonach für die Vertheilungsleitungen mit 6 Volt und für die Speiseleitungen mit 26 Volt bestimmt.

In den nachstehenden Leitungsfiguren sind die Normalbelastungen (= Summe für beide Gruppen des Systems) in Ampère und die einfachen Leitungslängen in Metern angegeben. Als Leitungsmaterial dient Kupfer mit dem specifischen Widerstand von $c = \frac{1}{57}$.

a) Vertheilungsleitungen.

Strecke $\overline{A\,1\,2}$, Fig. 368; im Dreileitersystem.

$$q_1 = \frac{\frac{2}{2}\,[(12 \times 45) + (7 \times 100) + (3 \times 135) + (8 \times 165) + (9 \times 205)]}{57 \times 6}$$

$$q_1 = 14._0\ mm^2 \text{ für die Außenleiter.}$$

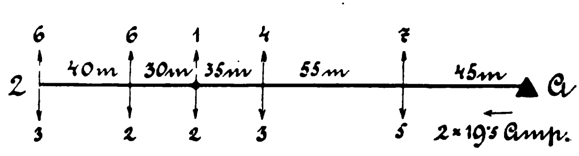


Fig. 368. Vertheilungsleitung A $\bar{1}$ $\bar{2}$.

Laut Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker (II. Th., 3. Buch, S. 202) wäre für die Betriebsstromstärke von $\frac{12 + 7 + 3 + 8 + 9}{2} = 19._5$ Amp. per Außenleiter, ein Querschnitt

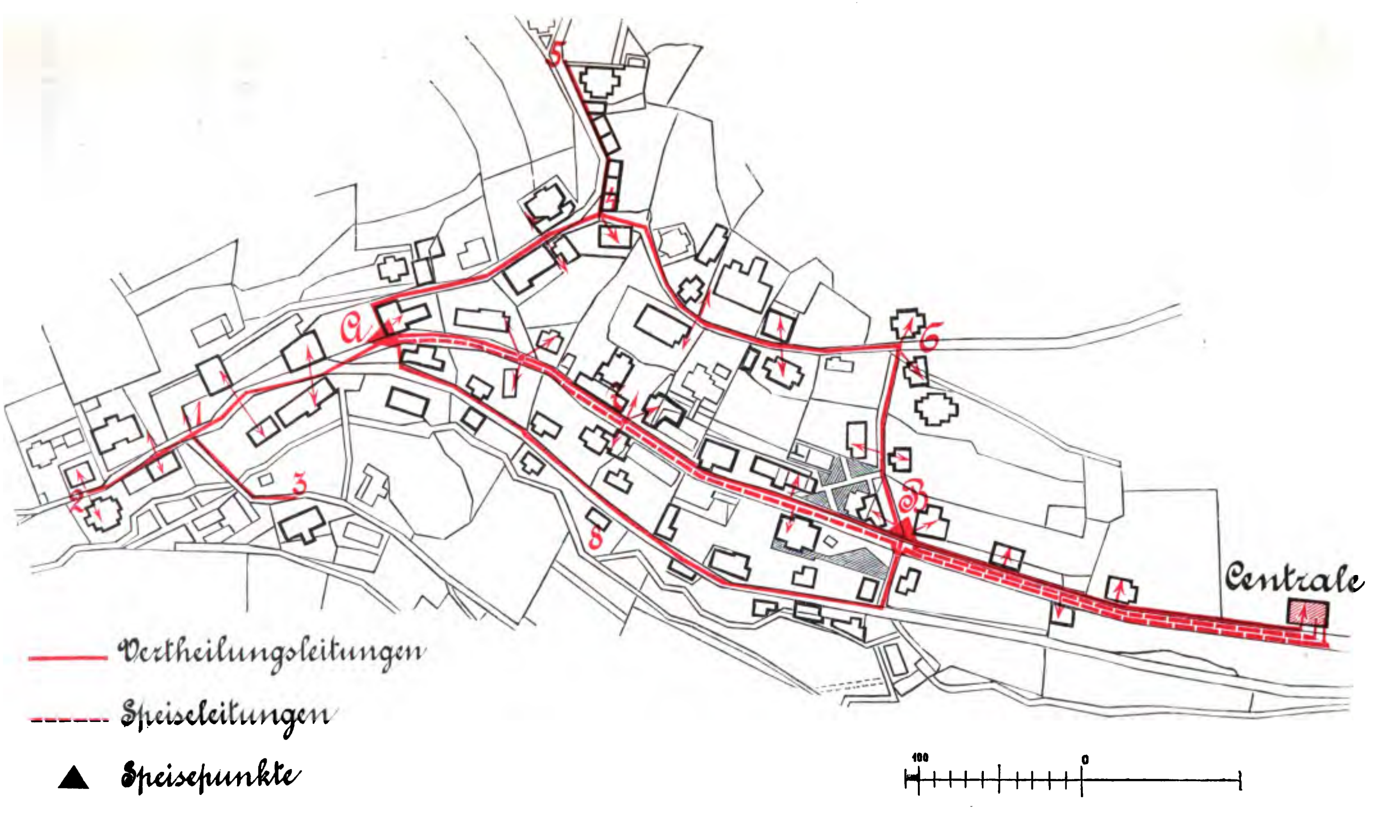


Fig. 367. Leitungsanlage für ein kleines Elektricitätswerk.

von 6 mm^2 nothwendig. Zu wählen ist daher jener normale, größere Fabrikationsquerschnitt, welcher dem größeren der gefundenen Querschnitte am nächsten kommt. In diesem Falle ist für die Außenleiter

$$q_1 = 16\ mm^2$$

zu nehmen. Der Mittelleiter wird 10 mm^2.

S t r e c k e $\overline{13}$, Fig. 369; wegen der geringen Belastung im Zweileitersystem.

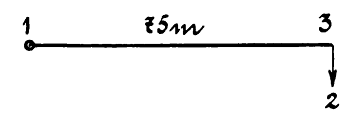


Fig. 369. Vertheilungsleitung $\overline{13}$.

Nachdem der Verlust von A bis 1 per Gruppe bereits

$$v = \frac{\frac{2}{2}\left[(12 \times 45) + (7 \times 100) + (20 \times 135)\right]}{2 \times 57 \times 16}$$

$$v = 2._1 \text{ Volt}$$

ist, verbleibt für die Strecke $\overline{13}$ noch ein Verlust von $3 - 2._1 = 0{\cdot}9$ Volt zulässig.

$$q_2 = \frac{2 \times 75 \times 2}{57 \times 0._9}$$

$$q_2 = 5._8\ mm^2.$$

Laut Sicherheitsvorschriften möchte für die gegebene Stromstärke ein Querschnitt von 0·75 mm^2 genügen. Andererseits ist für Freileitungen ein Querschnitt unter 6 mm^2 aus Festigkeitsgründen nicht zulässig. Die Strecke $\overline{13}$ wird daher mit dem Normalquerschnitte von

$$q_2 = 6\ mm^2$$

auszuführen sein.

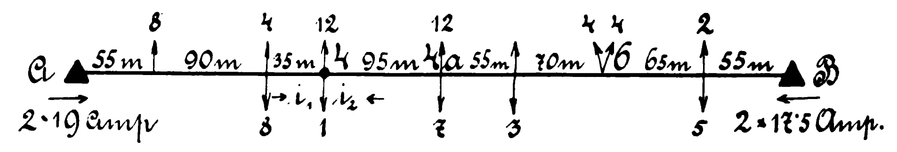


Fig. 370. Vertheilungsleitung $A\overline{\ }4\overline{\ }6\overline{\ }B$.

S t r e c k e $A\overline{\ }4\overline{\ }6\overline{\ }B$, Fig. 370; im Dreileitersystem.

Zur Bestimmung der Stromvertheilung denken wir uns die Leitung in Punkt 4 geschnitten.

$$i_1 = 13 - i_2$$

$$(8 \times 55) + (12 \times 145) + (i_1 \times 180) = (i_2 \times 340) + (19 \times 245) +$$
$$+ (6 \times 190) + (8 \times 120) + (7 \times 55);\ 180\,(13 - i_2) = 340\, i_2 + 4960$$

$$\mathbf{i_2 = - \ 5._0 \ Amp.}$$
$$\mathbf{i_1 = + 18 \ \ Amp.}$$

Nachdem sich für i_2 ein negativer Wert ergibt, ist nicht in Punkt 4 der größte Spannungsverlust, sondern in Punkt $4a$. Letzterem fließen nach obiger Rechnung vom Speisepunkte A aus $= 5$ Amp. und vom Speisepunkt B aus $= (19 - 5) = 14$ Amp. zu.

$$q_3 = \frac{\frac{2}{2}\,[(8 \times 55) + (12 \times 145) + (13 \times 180) + (5 \times 275)]}{57 \times 6}$$

$q_3 = 17{\cdot}2\ mm^2$.

Laut Sicherheitsvorschriften genügt der Belastung von A aus $=$ $= \frac{8 + 12 + 13 + 5}{2} = 19$ Amp., bezw. von B aus $= \frac{7 + 8 + 6 + 14}{2} =$ $= 17{\cdot}5$ Amp. per Außenleiter. Der Querschnitt von $6\ mm^2$. Den erhaltenen Querschnitten liegt der Fabrikationsquerschnitt von $25\ mm^2$ am nächsten, weshalb

$$\mathbf{q_3 = 25\ mm^2}$$

und der Mittelleiter $= 10\ mm^2$ gewählt wird.

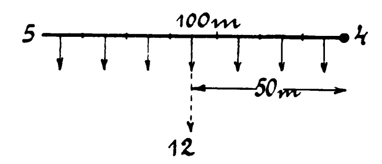


Fig. 371. Vertheilungsleitung $\overline{4\ 5}$.

S t r e c k e $\overline{4\ 5}$, Fig. 371; im Dreileitersystem. Die Belastung ist gleichmäßig vertheilt.

Der Verlust von A bis 4 beträgt

$$V = \frac{\frac{2}{2}\,[(8 \times 55) + (12 \times 145) + (18 \times 180)]}{57 \times 25}$$

$V = 3._8$ Volt,

so dass für die Strecke $\overline{4\ 5}$ noch $(6 - 3{\cdot}8) = 2{\cdot}2$ Volt verbleiben.

$$q_4 = \frac{\frac{2}{2}\,(50 \times 12)}{57 \times 2{\cdot}2}$$

$q_4 = 4{\cdot}7\ mm^2$.

Laut Sicherheitsvorschriften sind für $\frac{12}{2} = 6$ Amp. 1·5 mm^2 ausreichend, dagegen sind aus Festigkeitsgründen sowohl die Außenleiter mit

$$q_4 = 6\ mm^2,$$

als auch der Mittelleiter mit gleichem Querschnitt auszuführen.

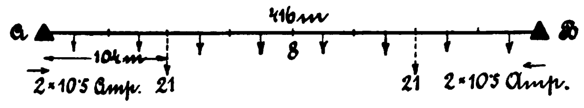


Fig. 372. Vertheilungsleitung $\overline{A\ 8}\ \overline{B}$.

Strecke $\overline{A\ 8}\ \overline{B}$, Fig. 372; im Dreileitersystem. Die Belastung ist gleichmäßig vertheilt.

$$q_5 = \frac{\frac{2}{2}(104 \times 21)}{57 \times 6}$$

$$q_5 \cong 6{\cdot}4\ mm^2.$$

Nach den Sicherheitsvorschriften genügt für $\frac{21}{2} = 10._5$ Amp., ein Querschnitt von 4 mm^2. Dem größeren Werte entsprechend, wählen wir für die Außenleiter

$$q_5 = 10\ mm^2$$

und für den Mittelleiter 6 mm^2.

Fig. 373. Vertheilungsleitung $\overline{B}$ Centrale.

Strecke $\overline{B}$ Centrale, Fig. 373; im Dreileitersystem.

$$q_6 = \frac{\frac{2}{2}[(70 \times 4) + (115 \times 3) + (150 \times 4) + (270 \times 5)].}{57 \times 6}$$

$$q_6 = 7._5\ mm^2.$$

Für $\frac{4 + 3 + 4 + 5}{2} = 8$ Amp. wären nach den Sicherheitsvorschriften $2._5$ mm^2 ausreichend. Wir nehmen für die Außenleiter

$$q_6 = 10\ mm^2$$

und für den Mittelleiter 6 mm^2.

Strecke $\bar{A}\,\bar{7}\,\bar{B}$, Fig. 374; im Dreileitersystem.

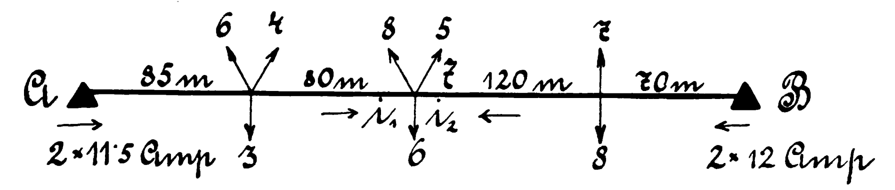


Fig. 374. Vertheilungsleitung $\bar{A}\,\bar{7}\,\bar{B}$.

Die Berechnung des Querschnittes dieser Leitung folgt später. Vorläufig soll nur die Stromvertheilung auf die beiden Speisepunkte bestimmt werden. Wir denken uns die Leitung von durchaus gleichem Querschnitt und bei Punkt 7 geschnitten.

$$i_1 = 19 - i_2$$
$$(13 \times 85) + (i_1 \times 165) = (i_2 \times 190) + (15 \times 70)$$
$$165(19 - i_2) = 190 i_2 - 55$$
$$i_2 \cong 9 \text{ Amp.}$$
$$i_1 \cong 10 \text{ Amp.}$$

Somit hat der Speisepunkt $A = 6 + 4 + 3 + 10 = 23$ Amp. und der Speisepunkt $B = 7 + 8 + 9 = 24$ Amp. an die Leitung $\bar{A}\,\bar{7}\,\bar{B}$ abzugeben.

b) Speiseleitungen.

In den Figuren 375 und 376 sind die aus vorstehenden Berechnungen gefundenen Einzelbelastungen der beiden Speisepunkte A und B ersichtlich gemacht. Die Querschnitte der Speiseleitungen ergeben sich dann in nachstehender Weise.

Fig. 375. Belastung des Speisepunktes A.

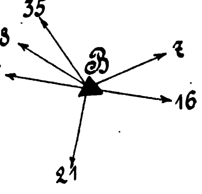


Fig. 376. Belastung des Speisepunktes B.

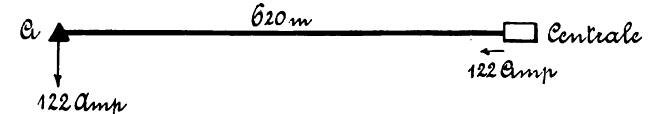


Fig. 377. Speiseleitung $\bar{A}$ Centrale.

Speiseleitung $\bar{A}$ Centrale, Fig. 377; im Dreileitersystem.

$$Q_1 = \frac{\frac{2}{2}\,(122 \times 620)}{57 \times 26}$$

$$Q_1 = 51{\cdot}0 \; mm^2 .$$

Laut Sicherheitsvorschriften sind für $\frac{122}{2} = 61$ Amp. 35 mm^2 genügend. Wir nehmen den Normalquerschnitt

$$Q_1 = 50\ mm^2$$

für die Außenleiter und 25 mm^2 für den Mittelleiter. Die Wahl des Querschnittes von 50 mm^2 statt 51 mm^2 ist in diesem Falle ohneweiters zulässig, da der Spannungsverlust von 26 Volt nur auf 26·5 Volt steigt.

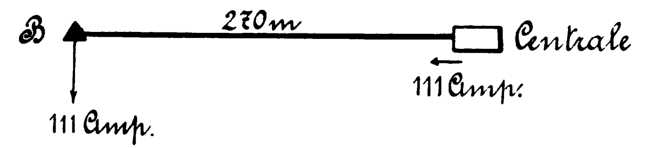


Fig. 378. Speiseleitung $\overline{B}$ Centrale.

Speiseleitung $\overline{B}$ Centrale, Fig. 378; im Dreileitersystem.

$$Q_2 = \frac{\frac{2}{2}(111 \times 270)}{57 \times 26}$$

$$Q_2 = 20 \cdot 2\ mm^2.$$

Den Sicherheitsvorschriften entspricht für $\frac{111}{2} = 55 \cdot 5$ Amp. normal ein Querschnitt von 25 mm^2, doch kann in außergewöhnlichen Fällen bis auf 16 mm^2 herunter gegangen werden. Ferner möchte für den oben berechneten Querschnitt der normale Fabrikationsquerschnitt von 25 mm^2 zu berücksichtigen sein. Um jedoch zur möglichsten Aufrechthaltung des gewählten Spannungsgefälles die Anwendung besonderer Zusatzmittel zu vermeiden und weil auch der Querschnitt von 20 mm^2 häufig erzeugt wird, machen wir ausnahmsweise

$$Q_2 = 20\ mm^2.$$

Der Mittelleiter wird 10 mm^2.

Der Spannungsverlust wird statt 26 Volt nunmehr gleich 26·3 Volt. Nachdem dieser Wert mit dem für die Speiseleitung $\overline{A}$ Centrale erhaltenen, beinahe übereinstimmt, ist die von uns angenommene Belastung der Speisepunkte als richtig zu nehmen. Im anderem Falle würde natürlich eine Verschiebung der Belastungen stattfinden, weshalb eine kleine Nachrechnung zur Feststellung der wirklichen Verhältnisse erforderlich wäre.

c) Ausgleichsleitung, Fig. 379.

Laut Berechnung auf den Seiten werden unter normalen Verhältnissen vom Speisepunkte $A = 23$ Amp. und vom Speisepunkte

$B = 24$ Amp. an die Strecke $\overline{A\,7\,B}$, beziehungsweise $i_1 = 10$ Amp. und $i_2 = 9$ Amp. an den Punkt 7 abgegeben. Wir nehmen nun an, dass durch plötzliche Entlastung der Strecke $\overline{A\,1\,2}$ die Belastung des Speisepunktes A um 30 Amp. (d. i beiläufig 25%) vermindert wird. Infolgedessen wird die Spannung in A steigen und somit von hier aus an die Strecke $A\ 7\ B$ mehr Strom abfließen, als früher. Angenommen sei, dass dabei nach B ein Strom i abgegeben wird. Ob derselbe positiv oder negativ ist, ergibt die nachfolgende Rechnung. Die von der Centrale an die Speisepunkte abzugebenden Gesammtstromstärken (= Summe beider Dreileiterhälften) seien i_1 und i_2, die Gesammtverluste in den Speiseleitungen gleich e_1 und e_2.

$$i_1 = 92 + 9 + 15 + i \qquad\qquad i_2 = 111 - 9 - 15 - i.$$

Die Stromstärken 9 und 15 wurden früher von B abgegeben.

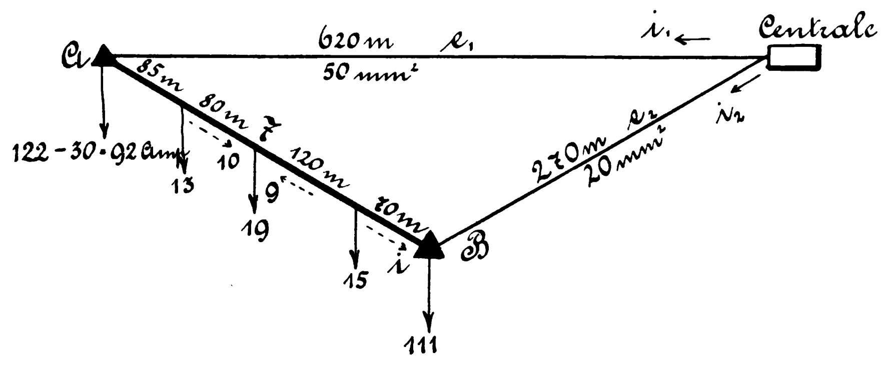


Fig. 379. Ausgleichsleitung $\overline{A\,7\,B}$.

$$e_1 = \frac{2 \times 620 \times \left(\frac{116 + i}{2}\right)}{57 \times 50} \quad \text{und} \quad e_2 = \frac{2 \times 270 \times \left(\frac{77 - i}{2}\right)}{57 \times 20}.$$

Der Spannungsunterschied zwischen A und B soll höchstens gleich dem maximalen Verlust in den Vertheilungsleitungen (= 6 Volt) werden.

$$e_1 - e_2 = 6 = \frac{1}{57}\left[\frac{62\ (116 + i)}{5} - \frac{27\ (87 - i)}{2}\right]$$

Daraus ist $\qquad i = 3{\cdot}01$ Amp.

Der Querschnitt der Leitung $\overline{A\,7\,B}$ muss dann sein:

$$q_7 = \frac{\frac{2}{2}\left[(13 \times 85) + (19 \times 165) + (15 \times 285) + (3{\cdot}01 \times 355)\right]}{57 \times 6}$$

$q_7 = 28\ mm^2$.

Den Sicherheits-Vorschriften (II. Th. 3. B. S. 197, § 5) würde für $\frac{13 + 19 + 15 + 3{\cdot}01}{2} \cong 25$ Amp. ein Querschnitt von rund 10 mm^2 genügen. Wir führen die Außenleiter mit dem Normalquerschnitt

$$q_7 = 25\ mm^2$$

und den Mittelleiter mit 10 mm^2 aus. Die Verwendung von 25 mm^2 statt 28 mm^2 ist ohneweiters zulässig, da der parallel geschaltete Leiter $\overline{A\,4}\,\overline{6\,B}$ statt mit 17·2 mm^2, mit 25 mm^2 genommen wurde und daher auch ausgleichend wirkt.

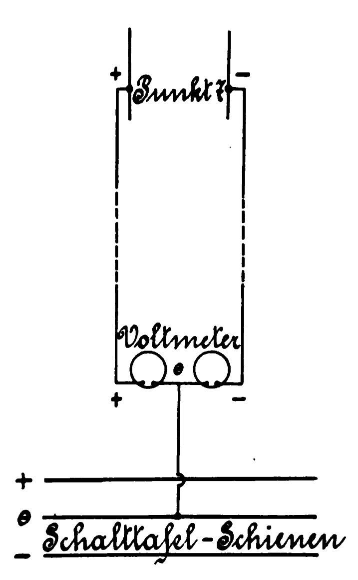


Fig. 380. Controlleitung.

d) Controlleitung.

Zur Aufrechthaltung einer mittleren Consumspannung bedienen wir uns einer Controlleitung, welche bei Punkt 7, also in der Mitte des Verbrauchsgebietes, an die Außenleiter der Vertheilungsleitung angeschlossen und zu den zwei Controlvoltmetern in der Centrale geführt wird. Die dritte Leitung wird in der Centrale von dem Mittelleiter der Schalttafel abgezweigt, Fig. 380. Dieser Vorgang beeinflusst die Genauigkeit der Messung nicht, nachdem bei richtiger Consumvertheilung und aufmerksamer Bedienung, die von der Centrale abgehenden Mittelleiter nur geringe Ströme führen und daher keine nennenswerten Spannungsverluste aufweisen.

Der Querschnitt der Controlleitungen ist in Anbetracht der geringen Länge nur mit 6 mm^2 auszuführen.

127. Hausinstallationen. Fig. 381 zeigt die Stromvertheilung in einem Hause. Es ist daraus zu ersehen, dass die elektrische Beleuchtungsanlage an eine Wechselstromcentrale (einphasiger Wechselstrom) angeschlossen ist. Der Transformator wird gewöhnlich derart angebracht, dass eine Führung von Hochspannungskabeln in Kellerräumlichkeiten vermieden wird. Vom Hauptvertheiler im Keller, Fig. 382 oder 383, zweigen die Steigleitungen für die Wohnungen und Geschäftslocalitäten ab. Diese Trennung hat den Zweck, die Installationen in den Geschäftsräumen von jenen in den Wohnungen unabhängig zu machen oder umgekehrt. Es ist dadurch eine größere Betriebssicherheit

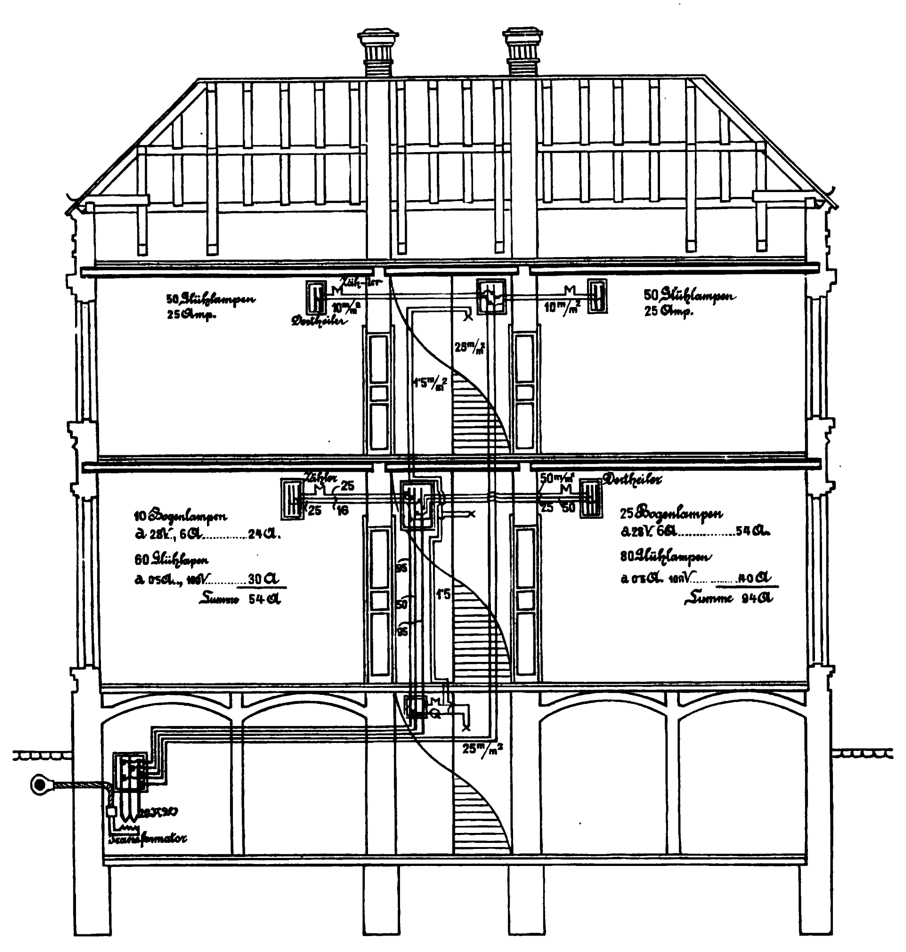


Fig. 381. **Stromvertheilung in einem Hause.**

der ganzen elektrischen Installation im Hause hergestellt. Die Hauptvertheilleitungen, welche von dem erwähnten Vertheiler im Keller abzweigen, sind zumeist Bleikabel, welche auf großen Porzellanrollen verlegt werden. Diese Leitungen werden im Keller mit einem Holzkasten, welcher z. B. mit Karbolineum (gegen Fäulnis) getränkt ist, umgeben. Der Kasten hat lediglich nur den Zweck, die darunter befindlichen Leitungen vor mechanischen Beschädigungen zu schützen. Im Keller ist ein Abzweigkasten angebracht, von welchem die Steigleitungen für die Hausbeleuchtung abzweigen. Die Ausschalter und der Elektricitätszähler befinden sich in der Portierswohnung, die in der Fig. nicht eingezeichnet ist. Als Material für die Steigleitungen verwendet man

am besten *G*-Drähte (II. Th., 3. B., S. 198.) Die übrigen Steigleitungen sind, wie schon erwähnt, Bleikabel, da die Verwendung von Gummikabeln zu kostspielig wäre.

Für die Verlegung der Steigleitungen wird gewöhnlich schon bei dem Baue des betreffenden Gebäudes Rücksicht genommen, indem ein oder zwei Schlitze im Stiegenhause, welche vom Keller bis zum Dachboden führen, freigelassen werden.

Bei Anbringung der Abzweigkästen für die einzelnen Geschäftsräume oder Wohnungen, ist es am besten, wenn die Abzweigkästen direkt über den Schlitz aber in die Mauer hinein verlegt werden. Die Sicherungen dürfen von den Abzweigstellen höchstens 25 *cm* entfernt sein.

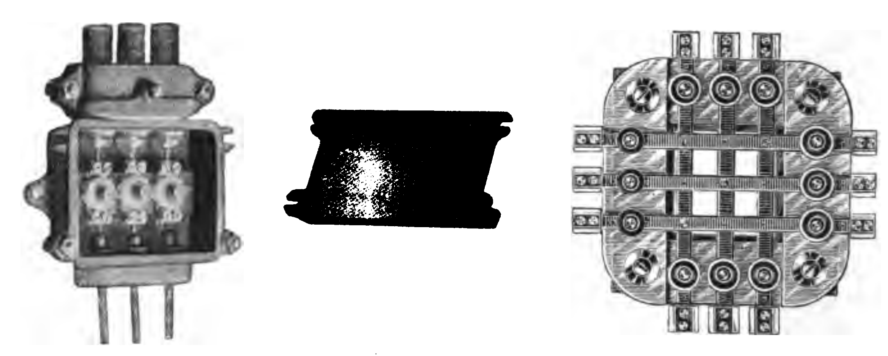


Fig. 382. Vertheiler.

Fig. 383. Lamellenvertheiler für Dreileitersystem.

Dass man die Kästen in die Mauer hinein verlegt, ist wohl selbstverständlich, da dadurch das Stiegenhaus an Schönheit nicht beeinträchtigt wird. Die Schlitze im Stiegenhause werden mit Blech, oder Blechgitter abgedeckt, so dass man in der Lage ist, zu jeder Zeit, ohne Beschädigung des Stiegenhauses, Reparaturen an Leitungstheilen vorzunehmen.

Bei Verwendung von Bleikabeln hat man besonders darauf zu sehen, dass die Endverschlüsse vorzüglich hergestellt werden, da im Falle mangelhafter Ausführung derselben, ein Stromübergang infolge Feuchtigkeitsschlusses stattfinden würde, was gewöhnlich einen Isolationsfehler der Anlage bedingt. Die Berechnung der Steigleitungen für die Wohnungen und Geschäftsräume als auch der geringen Länge der Steigleitungen für die Hausbeleuchtung, erfolgt nach den Stromstärken. Die Dimensionierung der Kabel und Sicherungen wurde unter Zugrundelegung der in den Sicherheitsvorschriften für Starkstrom-Anlagen enthaltenen Tabelle vorgenommen (II. Th., 3. B., S. 197).

Ein Umstand wäre bezüglich der Hauptleitungen noch zu erwähnen. Es ist aus der Fig. 381 zu ersehen, dass der 50 Volt-Leiter in der Mitte des Transformators abzweigt und auch beiderseits in die Geschäftsränme führt. Derselbe wurde derart bemessen, dass die Umschaltung an ein Dreileiter-Gleichstromnetz möglich erscheint, um solchermaßen als Mittelleiter Verwendung finden zu können. Für die Wohnungen müsste ein Mittelleiter nachgezogen werden, was keine Schwierigkeiten bereitet, da die Steigleitungen in Schlitzen verlegt sind.

Bei Wechselstromanlagen werden gewöhnlich drei Bogenlampen bei 100 Volt in einer Reihe hintereinander geschaltet. Eine Bogenlampe braucht etwa 28 Volt, das gibt für drei Lampen 84 Volt. Die übrigen 16 Volt werden durch einen Vorschaltwiderstand (Beruhigungswiderstand) getilgt. Würde nur eine Bogenlampe Verwendung finden, so müssten 72 Volt durch den Vorschaltewiderstand getilgt werden. Um das zu verhindern, schaltet man die eine Bogenlampe zwischen dem 50 Volt-Pol und einem Außenleiter ein.

Fig. 384 zeigt ein Schaltungsschema in einer Wohnung.

Aus dieser Figur sieht man, wie die Vertheilleitungen von der Steigleitung abzweigen und bis zu dem Wohnungsvertheiler im Vorzimmer führen. Von letzterem Vertheiler zweigen die einzelnen Stromkreise für die Wohnungen ab. Diese Stromvertheilung hat den Vortheil, dass jede Wohnung unabhängig ist von den anderen. Man könnte die Stromvertheilung auch derart durchführen, dass man eine stärkere Ringleitung im Vorzimmer zieht. Letztere hätte wohl den einen Vortheil, dass man nur eine Leitung zu verlegen hat, aber den Nachtheil, dass bei jeder Abzweigung in ein Zimmer, immer ein Bleisicherungskasten angebracht werden müsste. Dadurch wird die Übersicht der Anlage nur erschwert. Es ist daher am besten, wenn, sowie es Fig. 384 zeigt, sämmtliche Sicherungen koncentriert sind.

Die Verlegung der Leitungen kann in zweierlei Weise erfolgen:

1. Verlegung unter Putz.
2. Frei gespannte Leitungen.

1. Geschieht die Verlegung der Leitungen unter Putz, so müssen dieselben laut den früher erwähnten Sicherheitsvorschriften, jederzeit zugänglich sein, damit eine Auswechslung leicht stattfinden kann. Es müssen daher die Leitungen in eine Art Schläuche verlegt werden. Die Herstellung dieser Schläuche ist eine höchst einfache. Man stemmt Schlitze in die Mauer hinein, streicht dieselben mit Gips aus und wenn man eine überaus gute Isolation haben will, so überzieht man den Gips noch mit einer Gummi-Asphaltmasse. In diese so hergestellten Schläuche legt man die nothwendige Anzahl von Leitungen

hinein und deckt dieselben mit einem starken, mit Mennige bestrichenen Eisenblech ab, damit das Einschlagen von Nägeln, Haken u. s. w. in die Leitungen verhindert wird.

Beim Einlegen der Drähte in die Decken der Zimmer, ist es aus feuergefährlichen Gründen geboten, die Leitungen in Bergmannrohre (§ 75) zu verlegen, da Isolationsfehler von solchen Leitungen zu Bränden, besonders der leicht entzündlichen Stuccaturrohre führen können. Als Material der Drähte sind mindestens *G* Drähte zu verwenden.

2. Werden die Leitungen frei gespannt (Verlegung der Leitungen auf Rollen oder Klemmen, § 70, bezw. 72), so kommt diese Ausführung der Installationen wohl billiger, erfordert jedoch eine größere Aufmerksamkeit, da alle zugänglichen Leitungen vor mechanischen Be-

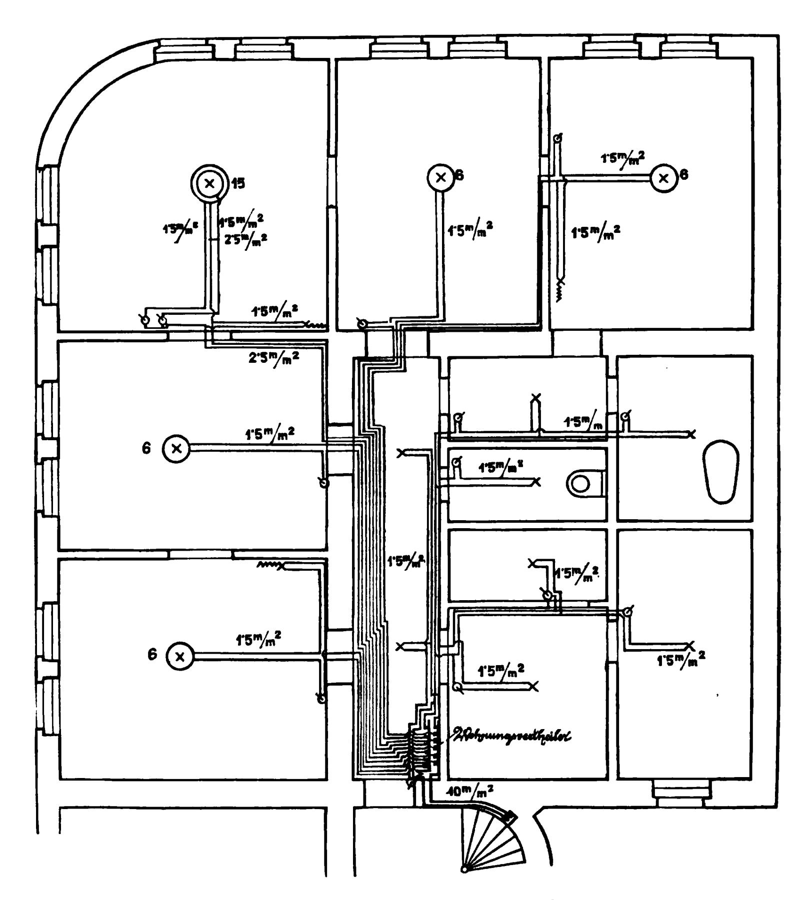


Fig. 384. Wohnungsschaltungsplan.

schädigungen geschützt werden müssen. Auch was Schönheit anbelangt, lassen die Freileitungen so manches zu wünschen übrig. Werden jedoch solche Leitungsverlegungen ausgeführt, so müssen dieselben in trockenen Räumen mindestens 5 *mm*, und in feuchten Räumen mindestens 10 *mm* von der Wand abstehen.

Das Darübertapezieren oder Überweißen mit Kalk kann höchst nachtheilige Folgen nach sich ziehen. Das Übertapezieren von Leitungen mit Papier- oder Stofftapeten, kann, wenn auch nur ganz unbedeutende Isolationsfehler entstehen, zu Bränden Anlass geben.

Das Anstreichen der Leitungen mit Kalk hat zur Folge, dass die Isolation der Leitungen angegriffen wird, was wieder mit Betriebsstörungen, eventuell mit Feuersgefahr verbunden ist.

Als Material der Leitungen sind wohl Drähte mit Isolation I zulässig, da es jedoch manchesmal unvermeidlich ist, dass ein Stück einer Leitung in Röhren verlegt werden muss, so wäre auch in diesem Falle aus feuergefährlichen Gründen der Kostenpunkt nicht zu scheuen und Leitungen mit Isolation G zu verwenden.

Für die Berechnung der Leitungen wurde ein Spannungsverlust von höchstens 2 Volt für die weitest entfernte Wohnung vom Wohnungsvertheiler angenommen.

Es ist demnach (I. Th., 1. B. 24) $V = A \,.\, \Omega = \frac{A \,.\, c \,.\, l}{q} =$

$$= \frac{3 \,.\, 0{\cdot}0174 \,.\, 60}{1{\cdot}5 \,.\, 0{\cdot}1} = 2{\cdot}098 \ \mathit{Volt}.$$

In sämmtlichen anderen Wohnungen ist der Spannungsverlust bedeutend geringer.

Allgemeine Bemerkungen über Installationen.

Das Hauptaugenmerk ist auf die Sicherungen (§ 50) zu richten und deshalb sollen diese hier nochmals hervorgehoben werden.

Sowohl Hin- und Rückleitungen sind jede separat zu sichern. Die Sicherungen müssen bei der doppelten Belastung von Leitungen, welche in den Sicherheitsvorschriften angegeben sind, abschmelzen. Beim Abschmelzen einer Sicherung ist es unzulässig, eine stärkere Sicherung, ohne vorherige Untersuchung des Fehlers, zu verwenden. Die Sicherungen sind nach dem dünnsten der zu sichernden Leitungen zu berechnen. Sicherungen sollen derart konstruiert sein, dass ein Verwechseln von Sicherungstheilen nicht stattfinden kann. Verwechslungen bei Sicherungstheilen sind dadurch zu vermeiden, dass sowohl auf dem feststehenden, als auch auf dem auszuwechselnden Theile, die Strom-

stärke und Spannung ersichtlich gemacht werden. Dasselbe gilt von den Ausschaltern.

Kommen in Räumen leicht entzündliche und leicht explosible Stoffe vor, so dürfen funkenbildende Leitungstheile nicht verwendet werden.

In den übrigen, hier und bei der Beschreibung der vorhergehenden Figuren, nicht separat angeführten Fällen, sei auf die Sicherheitsvorschriften für Starkstromanlagen hingewiesen. (II. Theil, 3. B., S. 196 ff).

Erwähnt sei noch, dass elektrische Installationen mindestens alle $^1/_4$ Jahr einer eingehenden Revision unterzogen werden sollen, damit eventuell vorkommende Mängel sofort behoben werden können. Diese Überprüfungen haben den Zweck, ein Urtheil über den Zustand der Anlage zu verschaffen.

Werden kleine Mängel rechtzeitig behoben, dann sind Betriebsstörungen sammt sämmtlichen Nachtheilen ausgeschlossen.

X. Kapitel.

Isolationsmessungen und Fehlerbestimmungen an elektrischen Starkstromleitungen.[1])

128. Die Kabelmesstechnik.

Die in Leitungen und Kabelnetzen vorkommenden Fehler können von dreierlei Art sein. Es kann 1. ein Leiter brechen, 2. zwischen zwei Leitern ein Kurzschluss eintreten und 3. kann ein Leiter mit der Erde Schluss bekommen.

Ein Bruch eines Starkstromkabels tritt wegen des großen Querschnittes desselben selten ein. Häufiger kommt es vor, dass ein Prüfdraht, der mit dem Leiter verseilt ist, bricht. Ein solcher Prüfdraht ist ein isolierter Draht, dessen Querschnitt 1—1·5 m^2 beträgt. Viel häufiger treten Kurzschlüsse zwischen 2 Leitungen auf und am häufigsten ein Erdschluss. Die Ursache des Auftretens eines Erdschlusses kann verschiedener Art sein.

---

[1]) Literatur:

Raphael-Apt, Isolationsmessungen und Fehlerbestimmungen an elektrischen Starkstromleitungen.

Fr. Kohlrausch, Handbuch der praktischen Physik und Fachzeitschriften.

Es kann die Isolation des Kabels schadhaft werden, es kann auch eine Muffe oder ein Kabelkasten nicht wasserdicht schließen. Es kommt auch vor, dass bei blank verlegten Leitungen ein Isolator bricht, oder schmutzig wird und schließlich kann es auch vorkommen, dass in den Kanal, in welchem das Kabel liegt, Wasser eintritt. Die von der Kabelfabrik gelieferten Leitungen und Kabel sind gewöhnlich fehlerlos, denn bevor ein Kabel die Fabrik verlässt, wird es genau untersucht, ob es vollkommen den Anforderungen entspricht. Hingegen kann es vorkommen, dass das Kabel beim Verlegen Verletzungen erhält. Auch die Löthstellen an den Kabelsträngen sind oft fehlerhaft, so dass auch sie Ursache von Erdschlüssen sein können. Eine Ursache von Beschädigungen der Kabel sind auch die Biegungen, denen die Enden der Kabel beim Verlöthen ausgesetzt sind. Das zum Löthen von Kabeln mit Bleimantel verwendete Loth soll mindestens ein Gewichtstheil Zinn auf zwei Gewichtstheile Blei enthalten, damit das Loth nach dem Erstarren nicht porös sei. Verlegte Kabel sind in Gefahr, bei späteren Aufgrabungen des Bodens, zum Zwecke des Verlegens neuer Leitungen oder Gas- und Wasserröhren verletzt zu werden. Solche Fehler machen sich sehr häufig nicht sofort erkennbar und treten manchmal erst nach Monaten und Jahren auf, da die zugefügte Verletzung oft nur klein ist und erst mit der Zeit zu größeren Zerstörungen Anlass gibt.

Unter dem Kabelnetz verstehen wir das gesammte Leitungsnetz zwischen der Centralstation und den an das Netz angeschlossenen Apparaten. Das Netz zerfällt in drei Arten von Leitungen, den Speiseleitungen, den Vertheilungsleitungen und den Hausanschlüssen. Die Vertheilungsleitungen erhalten ihren Strom von Seiten der Speiseleitungen. Die Anschlusspunkte dieser beiden Arten von Leitungen nennt man Speisepunkte. Unter dem Isolationswiderstand eines Netzes versteht man seinen Widerstand gegen Erde. Unter dem Fehlerwiderstand versteht man den Isolationswiderstand einer einzelnen Leitung des Netzes, wenn dieselbe mit den anderen Leitungen des Netzes nicht in Verbindung steht. Der Isolationswiderstand des Netzes ergibt sich als Summenwiderstand dieser einzelnen Widerstände, in der Weise zusammengeschaltet, wie sie im Netze angeordnet sind. Der Isolationswiderstand eines Netzes ist dann einfach der Widerstand, den man zwischen irgend einem Punkte des Netzes und der Erde messen kann. Die in der Kabelmesstechnik am meisten angewendete Versuchsanordnung ist die Wheatstone'sche Brücke oder eine Schaltung, die von dieser abgeleitet ist. Die Wheatstone'sche Brückenschaltung haben wir schon kennen gelernt. Bei den gewöhnlichen Widerstandsmessungen und Fehlerbestimmungen wird diese Brücke verwendet.

Nun müssen aber diese Messungen oft auch während des Betriebes gemacht werden. In diesem Falle muss man die Wheatstone'sche Brückenmethode etwas verändern. Wir stellen uns also vor, dass in den vier Zweigen der Brücke elektromotorische Kräfte wirksam sind. Wenn also auch der Batteriekreis der Brücke geöffnet ist, wird die Galvanometernadel doch einen Ausschlag zeigen, denn im Galvanometerdraht fließt jetzt ein Strom, der von den elektromotorischen Kräften, die in den vier Brückenzweigen wirksam sind, herrührt. Schließen wir jetzt den Batteriekreis, und sind die Widerstände der vier Zweige so abgeglichen, wie es der gewöhnlichen Wheatstone'schen Brücke entspricht, dann darf sich der Ausschlag des Galvanometers nicht ändern, denn aus der Batterie kann kein Strom in den Galvanometerdraht fließen. Während wir also bei der gewöhnlichen Brückenmethode die Galvanometernadel auf den Nullpunkt der Theilung führen, müssen wir bei dieser Methode die Widerstände solange verändern, bis die Galvanometernadel bei offenem und geschlossenem Batteriekreis gleichen Ausschlag gibt. Man nennt diese Stellung der Nadel auch den falschen Nullpunkt.

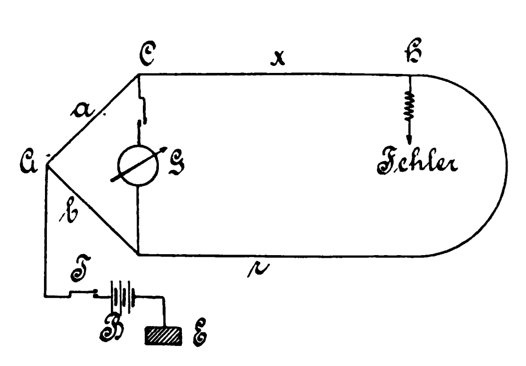


Fig. 385. Schleifenmethode.

Bestimmung eines Fehlerpunktes mit Hilfe der Wheatstone'schen Brücke. In Figur 385 sei CHr eine Leitung, die bei H eine Ableitung zur Erde besitzt. Es ist die Entfernung CH zu bestimmen und dadurch der Ort des Fehlers. Wir ordnen zu diesem Zwecke die in der Figur dargestellte Brücke an. a und b sind die Vergleichswiderstände, x und r bedeuten die Widerstände der Leitung von C bis H und von H bis r. Bis zu dem Punkte, in welchem b und G abzweigen. [1]) Die Widerstände a, b, x und r bilden die vier Zweige der Brücke. Zwischen die Punkte A und H haben wir die Batterie zu schalten. Nachdem H an der Erde liegt, kann dies so geschehen, dass wir den einen Pol der Batterie an den Punkt A und den andern Pol der Batterie an die Erde legen. Wenn das Galvanometer auf o gebracht ist, dann gilt die Gleichung:

$$\frac{a}{b} = \frac{x}{r}.$$

[1]) Dieser Punkt sei mit D bezeichnet. (In der Fig. 385 fehlt dieser Buchstabe.)

Aus dieser Gleichung folgt:

$$\frac{a}{a+b} = \frac{x}{x+r}.$$

Schreiben wir für $a+b=s$ und für $x+r=l$, das ist der Gesammtwiderstand der fehlerhaften Leitung, dann lautet die Gleichung:

$$\frac{a}{s} = \frac{x}{l}.$$

Daraus folgt:

$$x = \frac{a}{s} l,$$

x ist nun der Widerstand der Leitung vom Punkte C der Brücke bis zum Punkte H, dem Orte des Fehlers. Da der Widerstand eines Kabels seiner Länge proportional ist, so ist uns dadurch auch die Länge $C\,H$ gegeben. Wir können daher die Proportion schreiben:

$$\overline{CH} : L = x : l.$$

In dieser Proportion bedeutet L die Länge der zu untersuchenden Leitung, deren Widerstand $x+r=l$ beträgt. Aus dieser Proportion folgt:

$$\overline{CH} = L \,.\, \frac{x}{l}.$$

Setzen wir in diese Gleichung für x den Wert $\frac{a}{s}\,l$, dann erhalten wir:

$$\overline{CH} = L \,.\, \frac{a}{s} \;\ldots\ldots\; 1)$$

$\overline{CH}$ ist die von uns gesuchte Länge. In dem Resultate kommt bloß das Verhältnis der Widerstände a und s vor. Wir können darum den Brückenapparat auch so einrichten, dass wir die Widerstände a und b durch einen Schleifdraht ersetzen. A ist dann ein Schleifkontakt. Statt der Widerstände a und s setzen wir dann in unsere Gleichung die Drahtlängen der Widerstände a und s ein, denn diese verhalten sich ebenso wie die Widerstände. Diese Methode ist die von Murray angegebene Schleifenmethode. Dieselbe kann leicht so abgeändert werden, dass man die Entfernung des Fehlerortes vom Punkte C unmittelbar am Apparate ablesen kann. Zu diesem Zwecke bildet man sowohl den Kontakt A als auch den Kontakt D zu einem Schleifkontakte aus. Der Schleifdraht $C\,D$ hat im Punkte C den Nullpunkt seiner Theilung. Der Schleifkontakt D wird so eingestellt, dass die Länge CD ebensoviele Skalentheile enthält, als die Leitung CHD Längeneinheiten. Als Längeneinheit kann eine beliebige Einheit gewählt

werden. Nun wird der Kontakt A so lange verschoben, bis die Galvanometernadel auf O steht. In diesem Augenblicke besteht die Gleichung:

$$\frac{a}{s} = \frac{x}{l} \quad . \; . \; . \; . \; 2).$$

Nachdem a, s, x und l als die Längen der betreffenden Leiterstücke angesehen werden können, und s ebenso viele Einheiten als l enthält, muss auch das Schleifdrahtstück a ebenso viele Einheiten enthalten, als x, die Entfernung des Fehlerpunktes H vom Punkte C der Brücke. Die Längeneinheit für den Schleifdraht ist die Größe eines Skalentheiles. Hätten wir z. B. als Längeneinheit der Leitung das Meter gewählt, dann würde die Leiterstrecke $C\,H$ ebenso viele Meter enthalten als das Schleifdrahtstück $C\,A$ Skalentheile.

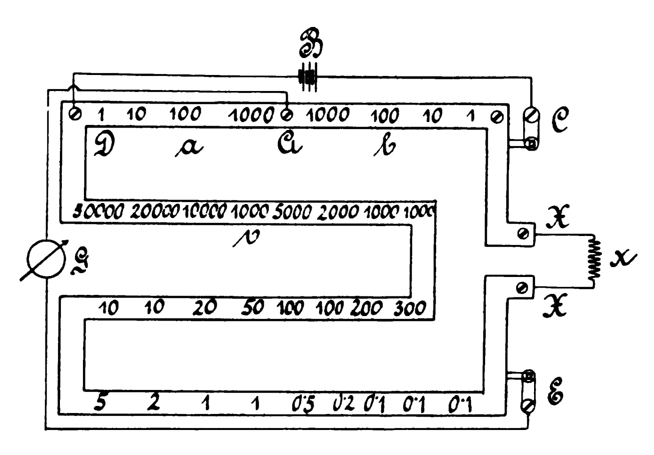


Fig. 386. **Widerstandskasten.**

Zum Zwecke der leichten Zusammenstellung von Wheatstone'schen Brückenschaltungen verwendet man entsprechend eingerichtete Widerstandskästen. Bekannt ist die Verwendung der Siemens'schen Widerstandskästen bei den erwähnten Brückenschaltungen. Ein speciell für Kabelmessungen eingerichteter Widerstandskasten ist der von Wolff. Ein Schema dieses Widerstandskastens sammt der Brückenschaltung zeigt die Figur 386. x ist der zu messende Widerstand. Man kann mittels dieser Brücke Widerstände von 0·001 bis 10 Millionen Ohm messen. Will man mit Hilfe dieses Widerstandskastens eine Fehlerbestimmung an einem Kabel nach der Schleifenmethode durchführen, dann werden alle Stöpsel zwischen A und C eingesteckt, so dass der Punkt A mit dem Punkte C wegen des Kurzschlusses identisch wird, der Pol der Batterie B, der mit dem Punkte C in Verbindung stand, wird

geerdet, und die Kabelschleife an die Punkte XX angelegt. Vergleichen wir diese Schaltung mit dem Schema in Figur 385, dann sehen wir, dass sie einander völlig entsprechen. Die in Figur 386 bezeichneten Widerstände b und v bedeuten jetzt dasselbe, wie die Widerstände b und r im Schema der Figur 385. Bringen wir wieder die Galvanometernadel auf O, dann gilt auch bei dieser Schaltung die Gleichung 1. Und wir erhalten für den Abstand des Fehlerpunktes vom Anschlusspunkte X, der mit dem Punkte C identisch ist, die Gleichung

$$X = \frac{b}{R + b} L \quad . \; . \; . \; . \; 3).$$

In dieser Gleichung bedeutet b den gestöpselten Widerstand in der Abtheilung b und R den in der Abtheilung $D\,E$ gestöpselten. $R + b$

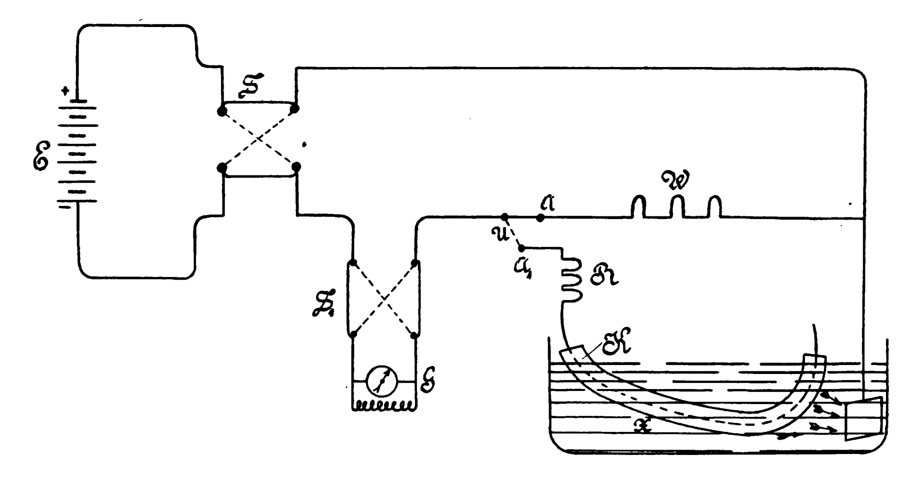


Fig. 387. Kabelisolationsmessung.

haben also die gleiche Bedeutung wie $a + b = s$ im Schema Figur 385 und in der Gleichung 1.

Zur Messung sehr kleiner Widerstände, wie etwa die Widerstände von kurzen Stücken dicker Kabel, bedient man sich der an anderer Stelle (I. Th., 2. B., S. 25) besprochenen Thomson'schen Doppelbrücke. Eine sehr bequeme Form hat die Firma Otto Wolf in Berlin dieser Brücke gegeben. Als Vergleichswiderstand dient ein Normalwiderstand von 0·0001 bis 1 Ohm.

Die Methode des direkten Ausschlages. (I. Th., 2. B. S. 80.) Diese Methode wird angewendet, um große Isolationswiderstände zu messen. Wir wollen nun zeigen, wie man mit Hilfe dieser Methode den Isolationswiderstand eines Kabels misst. Figur 387 gibt ein Schema

der Versuchsanordnung. Der Strom einer Batterie, deren elektromotorische Kraft E beträgt, wird durch ein Galvanometer G und einmal durch einen Widerstand W von bekannter Größe, etwa 1 Megohm, das andere mal durch den Isolationswiderstand des Kabels geschickt. Zu diesem Zwecke bringt man das Kabel K in einen Wasserbottich. Die Seele des Kabels wird mit Hilfe des Umschalters U an eine Klemme des Galvanometers G geschaltet, die Isolationsschicht des Kabels, die einen Widerstand x besitzt, steht durch das Wasser und die in dasselbe eingetauchte Kupferplatte mit der Batterie C in Verbindung. R ist ein Sicherheitswiderstand. Derselbe soll verhüten, dass, im Falle der Isolationswiderstand des Kabels sehr klein ist, ein zu starker Strom durch die Leitung fließt, und infolge dessen das Galvanometer Schaden leidet. S und S_1 sind Stromwender. Den Gesammtwiderstand des Galvanometers bezeichnen wir mit G. Stellen wir den Kontakthebel des Umschalters auf den Punkt A, dann fließt ein Batteriestrom I durch das Galvanometer und den Widerstand W, dessen Stärke, wenn wir den innern Widerstand der Batterie vernachlässigen, beträgt

$$I = \frac{E}{G + W}.$$

Der Ausschlagwinkel α am Galvanometer ist diesem Strome proportional. Wir können darum auch schreiben:

$$I = \frac{E}{G + W}\ C.\ \alpha \ \ldots\ldots 1).$$

Legen wir nun den Kontakthebel des Umschalters nach dem Punkte A_1 um, dann fließt der Batteriestrom I_1 durch die Widerstände G, R und x und der Ausschlagwinkel am Galvanometer β ist wieder dem Strome proportional. Wir können darum die Gleichung ansetzen:

$$I_1 = \frac{E}{G + R + x} = C.\ \beta \ \ldots\ldots 2).$$

Dividieren wir die Gleichung 1 durch die Gleichung 2, dann erhalten wir:

$$\frac{I}{I_1} = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{G + R + x}{G + W}.$$

Vernachlässigen wir auch den Widerstand G des Galvanometers, dann erhalten wir die Gleichung

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{R + x}{W}$$

und aus dieser Gleichung folgt

$$x = W\ .\ \frac{\alpha}{\beta} - R \ \ldots\ldots 3).$$

Gewöhnlich verwendet man bei dieser Methode auch einen Batteriewähler, der gestattet, mannigfache Spannungen E in Anwendung zu bringen. Schließlich kann es auch vorkommen, dass man dem Galvanometer verschiedene Empfindlichkeiten gibt, je nachdem man den Strom durch den Widerstand W oder durch den Isolationswiderstand x des Kabels schickt. Diese Versuchsabänderungen lassen sich naturgemäß auch leicht rechnerisch in den Formeln ausdrücken.

Nehmen wir an, wir hätten den Isolationswiderstand x eines Kabels von der Länge l bestimmt, und fragen nun, wie groß der Isolationswiderstand W eines gleichartigen Kabels von der Länge L sei. Bei dieser Berechnung haben wir zu bedenken, dass die Isolationswiderstände der einzelnen Längeneinheiten eines Kabels als parallel geschaltet anzunehmen sind. Diese Parallelschaltung besteht zwischen Erde und Kabel. Bedeuten z. B. l und L Meter, dann müssen wir sagen: Besitzen l Meter Kabel einen Isolationswiderstand von x Ohm, dann besitzt 1 Meter Kabel, einen Isolationswiderstand von $x \,.\, l$ Ohm, denn wir haben bei 1 Meter Kabel nur einen Weg für den die Isolation durchfließenden Strom von den x parallel geschalteten Wegen, die demselben bei l Meter Kabel zu Gebote stehen. L Meter haben darum einen Isolationswiderstand von $\frac{x \,.\, l}{L}$ Ohm und 1 *km* Länge dieses Kabels einen solchen von $\frac{x \,.\, l}{1000}$ Ohm.

Bei Ausführung der oben angegebenen Methode sind folgende Punkte zu beachten: Das Galvanometer ist während des Einschaltens des Kabels in den Stromkreis kurz zu schließen, damit der Ladestrom des Kabels, der oft eine beträchtliche Stärke wegen der großen Kapacität des Kabels besitzt, nicht in das Galvanometer gelangen kann. Das Kabel ist 24 Stunden vor Ausführung der Messung in das Bassin zu bringen, damit das Innere des Kabels eine konstante Temperatur annimmt, weil der Isolationswiderstand von der Temperatur wesentlich abhängt. Die Enden des Kabels müssen sauber geputzt und frei von Feuchtigkeit sein. Die Zuleitungsdrähte müssen streng isoliert sein. Der Galvanometerausschlag bei der Messung des Widerstandes der Isolation des Kabels ist nach dem Einschalten des Galvanometers kein konstanter, er geht vielmehr beständig zurück, bis er endlich, oft erst nach Stunden, eine konstante Größe annimmt. Man notiert gewöhnlich die Ausschläge, die sich nach je 1 oder 2 Minuten einstellen, bis zum Konstantwerden des Ausschlages und rechnet für diese Ausschläge die Isolationswiderstände. Die Spannung der Batterie beträgt 150—250 Volt. Man verwendet Akkumulatoren oder Trockenelemente. Der Isolationswiderstand wird gewöhnlich für eine Länge von 1 *km* bei $15^0\ C$ ange-

geben. Bezeichnet man den Isolationswiderstand des Kabels bei 15° C mit W_{15} und den bei t^0 mit W_t, dann können wir schreiben

$$W_{15} = W_t \cdot a^{15-t}.$$

a ist eine Konstante, die vom Isolationsmaterial abhängig ist. Wir können den Zusammenhang zwischen W_{15} und W_t auch so ausdrücken:

$$W_{15} = \alpha \cdot W_t.$$

Den Wert für α kann man aus Tabellen entnehmen, die für jedes Dielektrikum und für jede Temperatur den Wert für α angeben.

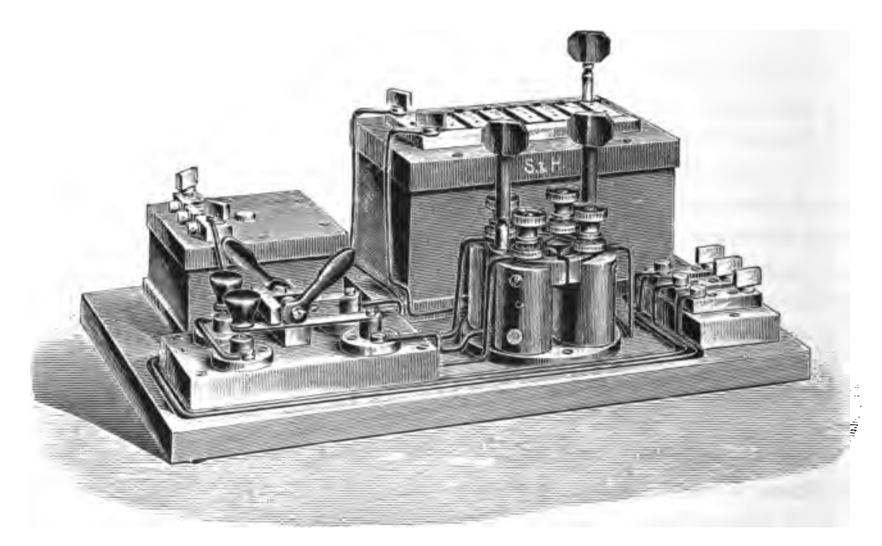


Fig. 388. Isolationsschaltung.

Bei einem bestimmten Isolationsmaterial nimmt der Isolationswiderstand mit der Stärke der isolierenden Schichte zu und sinkt mit dem Durchmesser des Kupfers. Ein für Hochspannung bestimmtes Kabel wird $^1/_2$—1 Stunde lang mit der doppelten Betriebsspannung geprüft.

Damit man erspart, bei jedem Versuche die Apparatezusammenstellung aufs Neue vorzunehmen, sind von einzelnen Firmen solche Zusammenstellungen in fest montierter Weise gebaut worden. Figur 388 zeigt eine sogenannte Isolationsschaltung der Siemens und Halske A.-G. Eine tragbare Zusammenstellung baut die Silvertown Company.

Für Isolationsmessungen auf der Strecke, bei der Verlegung von Kabelnetzen benützt man sogenannte Kabelmesswagen. Ein solcher Wagen enthält alle für eine Isolationsmessung nöthigen Apparate. Eine andere Gruppe von Apparaten zum Zwecke der Messung von Isolations-

widerständen bilden die Widerstandszeiger, welche im Wesentlichen Spannungszeiger sind, deren Zeiger über Skalen schwingen, die in Ohm getheilt sind. Der Messtrom wird von einer Magnetmaschine geliefert, deren Anker mit einer Handkurbel in Drehung versetzt wird.

Eine andere weniger angewendete Methode zur Messung des Isolationswiderstandes eines Kabels besteht darin, dass man die Kapacität des Kabels bestimmt, und hierauf das Kabel durch Anlegen an eine bestimmte Spannung lädt Nach Ablauf einer gezählten Zahl von Sekunden wird die Elektricitätsmenge, die sich noch auf dem Kabel befindet, bestimmt, und hierauf aus dieser Menge und der Ladungsmenge der Isolationswiderstand festgestellt.

129. Isolationsmessungen an Niederspannungsnetzen während des Betriebes.

Der Isolationswiderstand von einigermaßen ausgedehnten Netzen ist gewöhnlich so klein, dass es nicht möglich ist, zu seiner Bestimmung die Methode des direkten Ausschlages zu verwenden. Diese Methode wird darum auch nur angewendet zur Messung des Isolationswiderstandes von Kabeln in der Fabrik und des Isolationswiderstandes kleiner Kabelnetze während und nach der Verlegung. Man war darum bestrebt, Methoden zu finden, die gestatten, den Isolationswiderstand von Netzen während des Betriebes mit Benützung der Betriebsspannung bequem zu bestimmen. Von besonderem Interesse sind die Bedingungen, die der Verband deutscher Elektrotechniker in seinen Sicherheitsvorschriften für elektrische Starkstromleitungen (II. Th., 3. B., S. 205) an die Isolation von Niederspannungsanlagen und deren Messung stellt.

1. Der Isolationswiderstand des ganzen Leitungsnetzes gegen Erde muss mindestens $\frac{1000000}{n}$ Ohm betragen. Außerdem muss für jede Hauptabzweigung die Isolation mindestens $10000 + \frac{1000000}{n}$ Ohm betragen. (Unter Niederspannungen sind Spannungen bis 250 Volt verstanden, bei Mittelspannungen, das sind Spannungen von 250—1000 Volt, erhöht sich die Größe des geforderten Isolationswiderstandes auf $\frac{3000000}{n}$ Ohm.) In diesen Formeln ist unter n die Zahl der an die betreffende Leitung angeschlossenen Glühlampen zu verstehen, einschließlich eines Äquivalentes von 10 Glühlampen für jede Bogenlampe, jeden Elektromotor, oder für jeden anderen stromverbrauchenden Apparat.

2. Bei Messungen von Neuanlagen muss nicht nur die Isolation zwischen den Leitungen und der Erde, sondern auch die Isolation je zweier Leitungen verschiedenen Potentials gegen einander gemessen werden; hierbei müssen alle Glühlampen, Bogenlampen, Motoren oder andere stromverbrauchende Apparate von ihren Leitungen abgetrennt, dagegen alle vorhandenen Beleuchtungskörper angeschlossen, alle Sicherungen eingesetzt und alle Schalter geschlossen sein. Dabei müssen die Isolationswiderstände den obigen Formeln genügen.

3. Bei der Messung der Isolation sind folgende Bedingungen zu beachten: Bei Isolationsmessung durch Gleichstrom gegen Erde soll, wenn möglich, der negative Pol der Stromquelle an die zu messende Leitung gelegt werden, und die Messung soll erst erfolgen, nachdem die Leitung während einer Minute der Spannung ausgesetzt war. Alle Isolationsmessungen müssen mit der Betriebsspannung gemacht werden. Bei Mehrleiteranlagen ist unter Betriebsspannung die einfache Lampenspannung zu verstehen.

Die Vorschrift, die Messung erst dann vorzunehmen, wenn die Leitung bereits eine Minute lang der Spannung ausgesetzt war, hat ihre Begründung darin, dass der Isolationswiderstand von der Zeit der Elektrisierung abhängt. Diese Bestimmung wurde deshalb festgesetzt, um gleichwertige Versuchsresultate zu erhalten.

Man sollte täglich eine Isolationsmessung an dem Netze vornehmen, damit man in der Lage ist, einen etwa entstehenden Fehler gleich in seinen Anfängen zu entdecken. Dieses Verfahren würde die Betriebssicherheit wesentlich erhöhen. Ist ein Erdschluss bereits eingetreten,

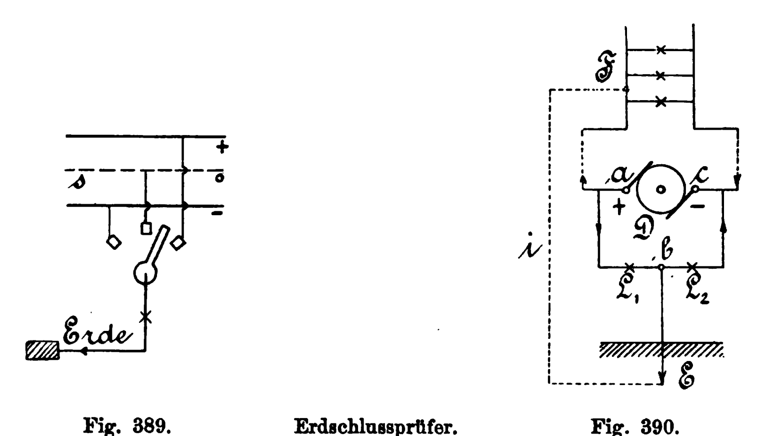


Fig. 389. Erdschlussprüfer. Fig. 390.

dann kann derselbe leicht mit Hilfe des Erdschlussprüfers konstatiert werden. Ein solcher besteht einfach aus einer Glühlampe, deren eine Klemme an Erde und deren andere an die zu prüfende Leitung gelegt wird, wobei die Leitung vom Betriebsstrome durchflossen wird. Je heller die Lampe brennt, desto größer ist der Fehler, denn ein umso stärkerer Strom fließt dann von der Leitung durch die Lampe zur Erde und zur Leitung durch den Fehlerpunkt zurück.

Fig. 389 zeigt einen einfachen Erdschlussprüfer für eine Dreileiteranlage. Die in der Figur ersichtliche Glühlampe wird mit Hilfe eines Umschalters zwischen die zu prüfende Leitung und die Erde geschaltet. Aus dem Grade der Helligkeit der Lampe schließt man auf die Güte der Isolation.

Den Unterschied im Isolationszustande zweier Leitungen lässt folgende Schaltung, Fig. 390, erkennen. Man schaltet zwischen die Pole *a* und *c* eines Netzes eine Reihe von Glühlampen L_1 und L_2. In der Mitte dieser Reihe im Punkte *b* bringt man eine Erdverbindung an, so dass also im Leiterstück *b a* ebensoviele Glühlampen sich befinden wie im Leiterstück *b c*. Wenn beide Kabel des Netzes, das positive und das negative, gleiche Isolation gegen Ende besitzen, dann brennen die beiden Glühlampen gleich hell. Denken wir uns nun, im Punkt *f* des positiven Kabels trete ein Erdschluss auf, dann wird durch diesen Punkt ein gewisser Strom *i*, der von der Größe des Isolationsfehlers abhängt, zur Erde fließen. Dieser Strom nimmt nun seinen Weg von der Fehlerstelle *F* durch die Erde zum Punkte *b* und durch die Lampen L_2 zur negativen Klemme *c*. Durch die Lampen L_2 fließt also ein um den Betrag *i* größerer Strom, als durch die Lampengruppe L_1, sie brennen also heller als die Lampen der Gruppe L_1. Statt der beiden Lampengruppen L_1 und L_2 kann man auch zwei Spannungszeiger verwenden. Der Isolationsunterschied der beiden Leitungskabel zeigt sich hier in den verschieden großen Ausschlägen der Spannungszeiger.

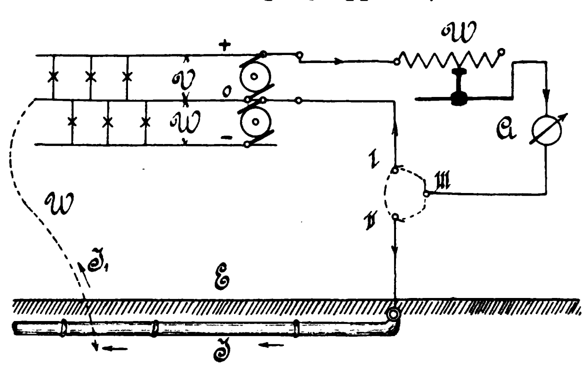


Fig. 391. Messung starker Isolationsfehler.

M e t h o d e v o n K a l l m a n n. Mit Hilfe dieser Methode kann man starke Isolationsfehler eines Leiters finden, wenn die Fehlerwiderstände der andern Leiter im Vergleich zu diesem Isolationswiderstande groß sind. In der Figur 391 ist angenommen, dass es sich darum handle, den Isolationswiderstand des neutralen Leiters eines Dreileitersystemes zu bestimmen, der Erdschluss hat. Zu diesem Zwecke schaltet man zwischen einen Außenleiter und den Kontakthebel eines Umschalters, Punkt III der Figur, einen regulierbaren Widerstand *r* und einen Stromzeiger *A*. Den Kontaktpunkt I des Schalters verbindet man mit dem fehlerhaften neutralen Leiter und den Kontaktpunkt II mit der Erde. Bringt man den Kontakthebel des Umschalters in die Lage I III, dann fließt durch den Stromzeiger ein Strom

$$J_1 = \frac{V}{r}.$$

Bei der Stellung II III des Hebels zeigt der Stromzeiger einen Strom an:

$$J_2 = \frac{V}{r + W}.$$

In diesen Gleichungen bedeutet V die Klemmenspannung einer Maschine des Deileitersystemes und W den Fehlerwiderstand des neutralen Leiters. In der Fig. 391 sind die drei Buchstaben W W W ersichtlich. Diese 3 Buchstaben bedeuten in der Erklärung: Erstes W (links) = W, zweites W, (etwa in der Mitte der Figur) = V, drittes W (rechts) = r. Aus den beiden Gleichungen folgt leicht die Größe des Fehlerwiderstandes W. Aus der ersten Gleichung ergibt sich:

$$r = \frac{V}{J_1};$$

setzen wir diesen Wert für r in die zweite Gleichung ein, dann erhalten wir:

$$J_2 = \frac{V}{\frac{V}{J_1} + W} \text{ daraus folgt:}$$

$$J_2 \left(\frac{V}{J_1} + W\right) = V,$$

$$\frac{J_2}{J_1} V + J_2 W = V \text{ und}$$

$$J_2 W = V - \frac{J_2}{J_1} V = V\left(1 - \frac{J_2}{J_1}\right) \text{ oder}$$

$$W = V\left(\frac{1}{J_2} - \frac{1}{J_1}\right).$$

Methode von Frisch. Denken wir uns ein Zweileitersystem, wie es in der Figur 392 dargestellt ist. P_1 und P_2 bedeuten die Spannungen der Pole der Stromquelle gegen Erde. Die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Polen betrage V Volt. Das positive Kabel habe einen Erdschluss, dessen Fehlerwiderstand f_1 beträgt, das negative Kabel besitze einen Erdschluss mit dem Fehlerwiderstande f_2. Die in diesen Widerständen fließenden Ströme seien i_1 und i_2. Letztere Ströme fließen durch die Erde als Knotenpunkt einer Stromverzweigung. Es muss also der eine Kirchhoff'sche Satz (I. Th., 1 B., S. 33) anwendbar sein, dass die algebraische Summe der Ströme, die in einem Knotenpunkte zusammentreffen, gleich 0 ist. Es besteht also die Gleichung

$$i_1 + i_2 = 0 \; \ldots\ldots \; 1)$$

Aus dieser Gleichung folgt

$$i_1 = - i_2 \; \ldots\ldots \; 2).$$

Ein anderer Kirchhoff'scher Satz (I. Th., 1. B., S. 34) lautet, dass in einem geschlossenen Leiterkreis einer Stromverzweigung die in diesem Kreise wirksame elektromotorische Kraft gleich ist der algebraischen Summe der Produkte der in diesem Leiterkreise dem Knotenpunkt zufließenden oder vom Knotenpunkte abfließenden Ströme mal den Widerständen, in welchen sie fließen. Wenn wir diesen Satz auf unser Stromschema anwenden, so erhalten wir:

$$V = i_1 f_1 - i_2 f_2 \ldots\ldots 3).$$

Setzen wir in die Gleichung 3 den Wert für i_1 aus der Gleichung 2 ein, dann erhalten wir:

$$-i_2 f_1 - i_2 f_2 = V, \text{ woraus folgt:}$$

$$i_2 = -\frac{V}{f_1 + f_2} \ldots\ldots 4).$$

Wir sagten, dass die Potentialdifferenz zwischen dem negativen Pole und der Erde P_2 beträgt. Der Strom i_2 fließt nun im Widerstande f_2, an dessen Enden eben die Spannung P_2 herrscht. Es gilt also die Gleichung:

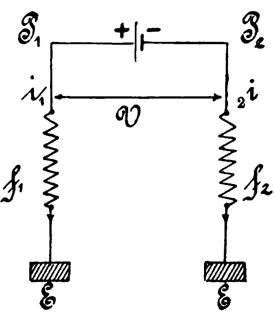


Fig. 392.
Isolationsfehler-Messung.

$$P_2 = i_2 f_2 = -\frac{V f_2}{f_1 + f_2} \ldots\ldots 5),$$

wenn wir in der Gleichung für i_2 den Wert aus der Gleichung 4 einsetzen. Wir wünschen nun den gesammten Isolationswiderstand des Netzes kennen zu lernen. Dieser Isolationswiderstand besteht aus den parallel geschalteten Widerständen f_1 und f_2. Nennen wir den Isolationswiderstand des Netzes F, dann gilt die Gleichung:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}.$$

Dividieren wir Zähler und Nenner der Gleichung 5 durch $f_1 \cdot f_2$, dann erhalten wir die Gleichung:

$$P_2 = -\frac{V \cdot \frac{1}{f_1}}{\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}} = -\frac{V \frac{1}{f_1}}{F} \ldots\ldots 6).$$

Auf ganz ähnlichem Wege hätten wir können die Gleichung finden:

$$P_1 = \frac{V \cdot \frac{1}{f_2}}{F} \ldots 7).$$

Schalten wir nun einen Spannungszeiger mit dem inneren Widerstande g einmal zwischen den positiven Pol und die Erde, das andere mal zwischen den negativen Pol und die Erde, dann erhalten wir statt der Werte P_1 und P_2 andere Werte P_1' und P_2', nachdem wir bei dem Anlegen des Spannungszeigers an die Klemmen den Spannungszeigerwiderstand g parallel zu den Fehlerwiderständen f_1 und f_2 legen. Wir erhalten darum

$$P_1' = \frac{V.\frac{1}{f_2}}{\frac{1}{f_1}+\frac{1}{g}+\frac{1}{f_2}} = \frac{V.\frac{1}{f_2}}{\frac{1}{F}+\frac{1}{g}} \ldots 8) \text{ und}$$

$$P_2' = -\frac{V.\frac{1}{f_1}}{\frac{1}{f_1}+\frac{1}{g}+\frac{1}{f_2}} = -\frac{V.\frac{1}{f_1}}{\frac{1}{F}+\frac{1}{g}} \ldots 9)$$

Subtrahieren wir die beiden Gleichungen, dann erhalten wir:

$$P_1' - P_2' = \frac{V.\left(\frac{1}{f_2}+\frac{1}{f_1}\right)}{\frac{1}{F}+\frac{1}{g}} = \frac{V.\frac{1}{F}}{\frac{F}{1}+\frac{1}{g}}$$

woraus folgt:

$P_1' - P_2' = \dfrac{V}{1+\frac{F}{g}}$, wenn wir Zähler und Nenner der Gleichung mit F multiplicieren. Aus dieser Gleichung folgt:

$$1+\frac{F}{g} = \frac{V}{P_1'-P_2'} \text{ und}$$

$$\frac{F}{g} = \frac{V}{P_1'-P_2'} - 1 \text{ also}$$

$$F = g\left(\frac{V}{P_1'-P_2'} - 1\right) \ldots\ldots 10).$$

P_1' und P_2' sind die Spannungszeigerablesungen d_1 und d_2, so dass wir auch schreiben können:

$$F = g\left(\frac{V}{d_1 - d_2} - 1\right) \ldots 11)$$

Statt eines Spannungszeigers kann man bei diesen Messungen auch einen Stromzeiger benutzen. Bedeuten jetzt d_1 und d_2 die Stromzeigerablesungen, dann können wir diese leicht aus den Spannungszeigerablesungen folgern. Besitzt der Stromzeiger einen Widerstand von g

Ohm, dann fließen durch denselben beim Anlegen an die beiden Pole die von demselben auch angezeigten Ströme:

$$d_1 = \frac{V}{g} \cdot \frac{\frac{1}{f_1}}{\frac{1}{F} + \frac{1}{g}} \ldots\ldots 12) \text{ und}$$

$$d_2 = -\frac{V}{g} \cdot \frac{\frac{1}{f_2}}{\frac{1}{F} + \frac{1}{g}} \ldots\ldots 13),$$

was nach Anwendung des Ohm'schen Gesetzes folgt, denn die Ströme d_1 und d_2 fließen je in dem Widerstande g zwischen dessen Enden einmal die Spannungsdifferenz $P_1' = \frac{V \cdot \frac{1}{f_1}}{\frac{1}{F} + \frac{1}{g}}$ und das anderemal die Spannungsdifferenz $P_1' = -\frac{V \cdot \frac{1}{f_2}}{\frac{1}{F} + \frac{1}{g}}$ herrscht. Subtrahieren wir die Gleichung 13 von der Gleichung 12 dann erhalten wir ähnlich wie früher

$$d_1 - d_2 = \frac{V}{g} \cdot \frac{\frac{1}{F}}{\frac{1}{F} + \frac{1}{g}} = \frac{V}{g} \cdot \frac{1}{1 + \frac{F}{g}} \text{ Daraus folgt:}$$

$$1 + \frac{F}{g} = \frac{V}{g(d_1 - d_2)} \text{ und}$$

$$\frac{F}{g} = \frac{V}{g(d_1 - d_2)} - 1 \text{ demnach}$$

$$F = \frac{V}{d_1 - d_2} - g \ldots\ldots 14).$$

Wir können auch sehr leicht die Fehlerwiderstände f_1 und f_2 bestimmen. Durch Eliminierung der Größe F aus den Gleichungen 8 und 9 mit Hilfe der Gleichung 11 erhalten wir bei Verwendung eines Spannungszeigers zur Messung die Werte:

$$f_1 = g \frac{\{V - (d_1 - d_2)\}}{-d_2} \ldots 15) \text{ und}$$

$$f_2 = g \frac{\{V - (d_1 - d_2)\}}{d_1} \ldots 16).$$

Bei Benützung eines Stromzeigers erhalten wir durch Eliminierung der Größe F aus den Gleichungen 12 und 13 mit Hilfe der Gleichung 14 die Werte:

$$f_1 = \frac{V - g(d_1 - d_2)}{-d_2} \ldots . 17)$$

$$f_2 = \frac{V - g(d_1 - d_2)}{d_1} \ldots . 18).$$

Der zur Messung verwendete Stromzeiger oder Spannungszeiger ist zweckmäßig so einzurichten, dass die Zeigerausschläge an diesen Instrumenten nach beiden Seiten des 0-Punktes der Skala erfolgen können. Die Werte d_1 und d_2 sind dann in die Gleichungen mit ihrem algebraischen Werte einzusetzen. Das heißt also die Ausschläge vom 0-Punkte nach der einen Seite der Skala sind positiv die Ausschläge nach der anderen Seite sind negativ in Rechnung zu ziehen.

Die Anwendung dieser Methode bei einem Dreileitersystem ist ebenso einfach, wie die bei einem Zweileitersystem. Es seien, Fig. 393, in einem Dreileitersystem P_1, P_2 und P_3 die Potentiale der einzelnen Leiter gegen Erde, f_1, f_2 und f_3 die Fehlerwiderstände der einzelnen Leitungen, V die Spannungsdifferenz zwischen je einem Außenleiter und dem Mittelleiter, und i_1, i_2 und i_3 die durch die Fehlerwiderstände zur Erde fließenden Ströme. Es ist klar, dass

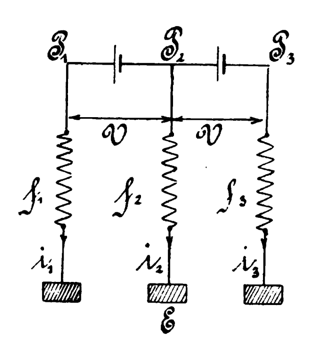


Fig. 393. Isolationsfehlermessung.

$$P_1 - P_2 = P_2 - P_3 = V \ldots\ldots 19).$$

Wenden wir wie früher die Kirchhoffschen Gesetze an, dann erhalten wir die Gleichungen:

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \ldots\ldots 20)$$
$$i_1 f_1 - i_2 f_2 = V \ldots . . 21)$$
$$i_2 f_2 - i_3 f_3 = V \ldots . . 22).$$

Wir multiplicieren nun die Gleichung 21 mit f_3 und die Gleichung 22 mit $-f_1$. Dadurch erhalten wir:

$$i_1 f_1 f_3 = V f_3 + i_2 f_2 f_3 \text{ und}$$
$$i_3 f_3 f_1 = - V f_1 + i_2 f_2 f_1.$$

Addieren wir die beiden Gleichungen, dann erhalten wir:

$$f_1 f_3 (i_1 + i_3) = V(f_3 - f_1) + i_2 (f_2 f_3 + f_2 f_1).$$

Aus Gleichung 20 folgt:

$$i_1 + i_3 = - i_2.$$

Setzen wir diesen Wert in die vorletzte Gleichung, dann haben wir zu schreiben:

$$-i_2 \cdot f_1 \cdot f_3 = V(f_3 - f_1) + i_2 (f_2 f_3 + f_2 f_1) \text{ oder}$$
$$i_2 (f_2 f_3 + f_2 f_1 + f_1 f_3) = V(f_1 - f_3).$$

Diese Gleichung, durch $f_1 f_3$ dividiert, gibt

$$i_2\left(\frac{f_2}{f_1} + \frac{f_2}{f_3} + 1\right) = V\left(\frac{1}{f_3} - \frac{1}{f_1}\right) \text{ oder}$$
$$i_2 f_2\left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3}\right) = V\left(\frac{1}{f_3} - \frac{1}{f_1}\right), \text{ worin}$$

$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} = \frac{1}{F}$, wenn wir mit F den Isolationswiderstand des Netzes bezeichnen, der aus den parallel geschalteten Widerständen f_1, f_2 und f_3 besteht. Wir können die zuletzt gewonnene Gleichung darum auch so schreiben:

$$i_2 f_2 \frac{1}{F} = V\left(\frac{1}{f_3} - \frac{1}{f_1}\right).$$

Aus dieser Gleichung folgt:

$$i_2 f_2 = \frac{\frac{1}{f_3} - \frac{1}{f_1}}{\frac{1}{F}} . V = P_2 \ldots . 23).$$

Wenn wir P_2 kennen, ist es uns ein Leichtes, die Werte von P_1 und P_3 zu bestimmen. Es ist nämlich nach Gleichung 19

$$P_1 = P_2 + V = \left(\frac{\frac{1}{f_3} - \frac{1}{f_1}}{\frac{1}{F}} + 1\right) V \ldots . 24) \text{ und}$$

$$P_3 = P_2 - V = \left(\frac{\frac{1}{f_3} - \frac{1}{f_1}}{\frac{1}{F}} - 1\right) V \ldots .. 25).$$

Nachdem wir bei der Messung von P_1 einen Spannungszeiger mit dem Widerstande g parallel zu dem Widerstande f_1 schalten, haben wir in unserer Gleichung 24 statt $\frac{1}{f_1}$, $\frac{1}{f_1} + g$ zu schreiben. Nachdem dieser Widerstand g auch zum gesammten Isolationswiderstande F parallel liegt, müssen wir in derselben Gleichung auch statt $\frac{1}{F}$, $\frac{1}{F} + \frac{1}{g}$ schreiben. Wir erhalten an Stelle von P_1 einen Wert P_1', wobei

$$P_1' = \left(\frac{\frac{1}{f_3} - \frac{1}{f_1} - \frac{1}{g}}{\frac{1}{F} + \frac{1}{g}} + 1 \right) V \ldots .26).$$

Statt P_2 erhalten wir einen Wert

$$P_2' = \frac{\frac{1}{f_3} - \frac{1}{f_1}}{\frac{1}{F} + \frac{1}{g}} V \ldots .27),$$

denn wieder haben wir statt $\frac{1}{F}$, $\frac{1}{F} + \frac{1}{g}$ zu schreiben. Der Zähler bleibt unverändert, weil wir bei der Bestimmung von P'_2 den Spannungszeiger parallel zu f_2 legen, und dieser Wert kommt im Zähler des Bruches in Gleichung 25 nicht vor. Nun ist

$$P_1' - P_2' = \frac{V}{\frac{1}{F} + \frac{1}{g}} \left(\frac{f_1 - f_3}{f_1 f_3} - \frac{f_1 g - f_3 g - f_1 f_3}{f_1 f_3 g} + 1 \right) =$$

$$= \frac{V}{\frac{1}{F} + \frac{1}{g}} \left(\frac{f_1 - f_3}{f_1 f_3} - \frac{f_1 g - f_3 g - f_1 f_3 + f_1 f_3 g}{f_1 f_3 g} \right) =$$

$$= \frac{V}{\frac{1}{F} + \frac{1}{g}} \frac{(f_1 - f_3) g - f_1 g + f_3 g + f_1 f_3 - f_1 f_3 g}{f_1 f_3 g} =$$

$$= \frac{V}{\frac{1}{F} + \frac{1}{g}} \frac{1-g}{g} = - V \left(\frac{1}{g \left(\frac{1}{F} + \frac{1}{g} \right)} - 1 \right).$$

Aus dieser Gleichung folgt:

$$F = g \left(\frac{V}{P_1' - P_2'} - 1 \right) \ldots .28).$$

Die Spannungsdifferenzen P_1' und P'_2 sind nun gleich den Voltablesungen d_1 und d_2 am verwendeten Spannungszeiger. Wir können darum auch schreiben:

$$F = g \left(\frac{V}{d_1 - d_2} - 1 \right) \ldots .\ 29).$$

Wir erhalten dieselbe Gleichung wie bei der Isolationsmessung an einem Zweileitersystem. Siehe Gleichung 11. Statt eines Spannungszeigers könnten wir auch einen Stromzeiger verwenden. Führen wir unsere Rechnungen für diesen Fall ähnlich wie beim Zweileitersystem durch, dann erhalten wir dieselbe Gleichung wie dort, siehe Gleichung 14,

$$F = \frac{V}{d_1 - d_2} - g \; . \; . \; . \; 30).$$

Es ist natürlich ganz gleichgiltig, ob man die Messungen am Mittelleiter und dem positiven Außenleiter, oder am Mittelleiter und dem negativen Außenleiter vornimmt. Das verwendete Instrument soll einen möglichst kleinen Widerstand haben.

Bei einem großen Vertheilungsnetze beträgt der Isolationswiderstand oft nur wenige Ohm. Würde man in einem solchen Falle einen Stromzeiger mit geringem Widerstande benützen, dann würde dieser zu viel Strom verbrauchen. Man schaltet darum dem Stromzeiger einen Widerstand vor. Bei hohen Isolationswiderständen muss man oft Milli-Stromzeiger und Milli-Spannungszeiger benutzen.

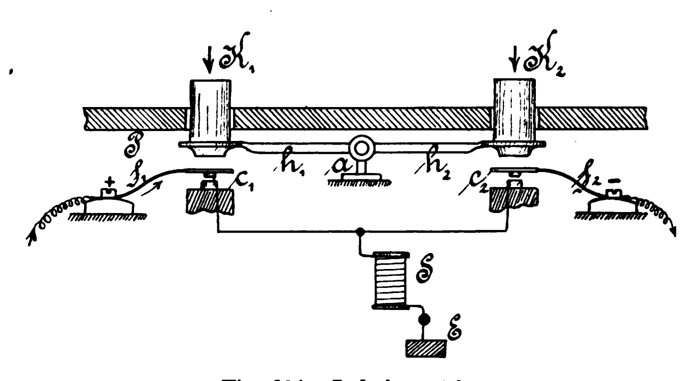


Fig. 394. Isolationsprüfer.

Zur bequemen Ausführung dieser Methode der Bestimmung des Isolationswiderstandes eines Netzes haben einige Firmen Apparate konstruiert. Figur 394 zeigt den Apparat der Weston Company, der bei einem Zweileitersystem verwendet werden kann. Das positive Kabel wird an die mit + bezeichnete Klemme, das negative an die mit — bezeichnete Klemme angeschlossen. Eine dritte Klemme, an welcher auch der Spannungszeiger angeschlossen ist wird mit der Erde in Verbindung gesetzt. Durch Niederdrücken des Tasters K_1 wird die positive Leitung mit der Erde leitend verbunden, durch Niederdrücken der Taste K_2 die negative Leitung an Erde gelegt. Wie aus der Figur zu entnehmen ist, können nie beide Tasten zugleich niedergedrückt werden. Die Folge davon wäre nämlich ein Kurzschluss der Leitungen.

Ein anderer oft verwendeter Isolationsmesser ist der auf dem gleichen Principe wie der Apparat der Weston Company beruhende Isolationsmesser der Firma Hartmann und Braun. Mit Hilfe eines umlegbaren Hebels kann sowohl die positive, als auch die negative

Leitung an Erde gelegt werden. Die Skala des Apparates ist in Megohm getheilt. Erhält man z. B. nur bei der positiven Stellung des Hebels einen Ausschlag, dagegen bei der anderen Stellung keinen, dann bedeuten die abgelesenen Megohm den Fehlerwiderstand des negativen Kabels, der Fehlerwiderstand des positiven Kabels ist im Vergleiche zu dem des negativen Kabels sehr hoch. Erhält man jedoch am Instrumente bei beiden Stellungen des Hebels Ausschläge, dann werden die Fehlerwiderstände der Leitungen nach den Formeln gerechnet:

$$f_1 = d_2 - \frac{d_2 + g}{d_1 + g} \cdot g \text{ und}$$

$$f_2 = d_1 - \frac{d_1 + g}{d_2 + g} \cdot g.$$

In diesen Formeln bedeutet f_1 den Fehlerwiderstand des positiven Kabels, f_2 den Fehlerwiderstand des negativen Kabels, d_1 und d_2 sind die erhaltenen Ausschläge am Instrumente und g ist der Widerstand des Instrumentes. Jedes Instrument ist für eine bestimmte Spannung gebaut. Das Instrument, das für ein Zweileiternetz mit 110 Volt Spannung gebaut wird, besitzt einen Widerstand von etwa 1000 Ohm und einen Skalenbereich von 4 bis 100 Megohm.

Fig. 395. Isolationsfehler-Messung.

Einen weiteren Isolationsmesser baut die Siemens und Halske A.-G. Mit Hilfe eines verstellbaren, magnetischen Nebenschlusses kann man den Zeiger des Instrumentes auf 110 Volt einstellen, auch dann, wenn die Netzspannung nicht 110 Volt beträgt. Auf diese Weise kann man das Instrument bei allen Spannungen verwenden, und hiebei den Isolationswiderstand an der Skala unmittelbar ablesen.

Methode von Frölich. In Figur 395 ist ein Fünfleitersystem dargestellt, dessen Isolationswiderstand wir mit Hilfe der Methode von Frölich bestimmen wollen. Die in der Figur ersichtlichen Bezeichnungen haben die gleiche Bedeutung, wie in den früheren ähnlichen Figuren. Die Spannung zwischen zwei benachbarten Leitungen beträgt V Volt. Es gelten folgende Gleichungen, die aus den Kirchhoff'schen Gesetzen folgen:

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + i_5 = 0 \quad \ldots 1)$$

$$i_1 f_1 - i_2 f_2 = V \ldots 2)$$

$$i_2 f_2 - i_3 f_3 = V \ldots 3)$$

$$i_3 f_3 - i_4 f_4 = V \ldots 4)$$

$$i_4 f_4 - i_5 f_5 = V \ldots 5).$$

Aus Gleichung 2 und 3 erhalten wir durch Addition derselben

$$i_1 f_1 = 2\,V + i_3 f_3 \ldots . 6).$$

Ebenso folgt durch Addition der Gleichungen 4 und 5

$$i_5 f_5 = -\,2\,V + i_3 f_3 \ldots . 7).$$

Multiplicieren wir die Gleichung 6 mit $f_2\ f_4\ f_5$, die Gleichung 3 mit $f_1\ f_4 f_5$, die Gleichung 4 mit $f_1\ f_2\ f_5$ und schließlich die Gleichung 7 mit $f_1\ f_2\ f_4$, dann erhalten wir folgende Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned} i_1 f_1 f_2 f_4 f_5 &= 2\,V f_2 f_4 f_5 &&+ i_3 f_3 f_2 f_4 f_5 \\ i_2 f_1 f_2 f_4 f_5 &= V f_1 f_4 f_5 &&+ i_3 f_3 f_1 f_4 f_5 \\ i_4 f_1 f_2 f_4 f_5 &= -\,V f_1 f_2 f_5 &&+ i_3 f_3 f_1 f_2 f_5 \\ i_5 f_1 f_2 f_4 f_5 &= -\,2\,V f_1 f_2 f_4 &&+ i_3 f_3 f_1 f_2 f_4 \end{aligned}\right\} 8).$$

Addieren wir diese Gleichungen und machen wir auch die durch Gleichung 1 gegebene Beziehung zwischen den Fehlerströmen geltend, dann erhalten wir:

$$-\,i_3 f_1 f_2 f_4 f_5 = V(2 f_2 f_4 f_5 + f_1 f_4 f_5 - f_1 f_2 f_5 - 2 f_1 f_2 f_4) +$$
$$+\,i_3 f_3 (f_2 f_4 f_5 + f_1 f_4 f_5 + f_1 f_2 f_5 + f_1 f_2 f_4).$$

Dividieren wir diese Gleichung durch das Produkt $f_1 f_2 f_4 f_5$, dann bekommen wir:

$$i_3 f_3 \left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_4} + \frac{1}{f_5}\right) = V\left\{\left(\frac{2}{f_5} + \frac{1}{f_4}\right) - \left(\frac{1}{f_2} + \frac{2}{f_1}\right)\right\}$$

und schließlich das Potential des Mittelleiters gegen Erde

$$P_3 = i_3 f_3 = V\frac{\left(\frac{2}{f_5} + \frac{1}{f_4}\right) - \left(\frac{1}{f_2} + \frac{2}{f_1}\right)}{\frac{1}{F}} \ldots . . 9).$$

In dieser Gleichung bedeutet wieder F den Isolationswiderstand des ganzen Netzes. Nehmen wir nun an, wir hätten ein Galvanometer mit dem Widerstande g zwischen Mittelleiter und Erde geschaltet, und dabei einen Auschlag d erhalten. War dies Galvanometer ein Stromzeiger, dann können wir schreiben:

$$d = J_3 = \frac{V}{g}\,\frac{\left(\frac{2}{f_5} + \frac{1}{f_4}\right) - \left(\frac{1}{f_2} + \frac{2}{f_1}\right)}{\frac{1}{F} + \frac{1}{g}} \ldots . 10).$$

Nun schalten wir parallel zu dem Galvanometer einen Widerstand, dessen Größe s beträgt. Dieser Widerstand ist dann ebensowohl dem Fehlerwiderstande f_3, als auch dem Isolationswiderstande F parallel geschaltet. Statt des Ausschlages d erhalten wir jetzt einen Ausschlag d' wobei

$$d' = \frac{V}{g} \frac{\left(\frac{2}{f_5} + \frac{1}{f_4}\right) - \left(\frac{1}{f_2} + \frac{2}{f_1}\right)}{\frac{1}{F} + \frac{1}{g} + \frac{1}{s}} \ldots . 11).$$

Aus den Gleichungen 10 und 11 folgt:

$$\frac{d}{d'} = \frac{\frac{1}{F} + \frac{1}{g} + \frac{1}{s}}{\frac{1}{F} + \frac{1}{g}} \ldots . 12).$$

Es lässt sich nun leicht nachweisen, dass diese Gleichung immer gilt, wenn man das Galvanometer an irgend einen Punkt eines beliebigen Netzes legt. Aus Gleichung 12 folgt:

$$\frac{1}{F}\left(d - d'\right) = \frac{d'}{s} - \frac{d - d'}{g} \text{ und}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{d'}{(d - d')s} - \frac{1}{g} \ldots .. 13).$$

Wählt man ein Galvanometer, dessen Widerstand g gegenüber F groß ist, dann kann man $\frac{1}{g}$ gegen $\frac{1}{F}$ vernachlässigen und man erhält die Gleichung:

$$F = \frac{d - d'}{d'} . s \ldots . 14).$$

Der Widerstand s wird nun bei der Messung so lange reguliert, bis der Ausschlag $d' = \frac{1}{2} d$ wird. In diesem Falle erhalten wir aus der Gleichung 14

$$F = \frac{d - \frac{1}{2} d}{\frac{1}{2} d} . s = s \ldots . 15),$$

d. h. der Nebenschlusswiderstand s gibt unmittelbar die Größe des Isolationswiderstandes an. Man kann natürlich d' verschieden groß machen. Bei $d' = \frac{2}{3} d$ ist $F = \frac{s}{2}$. Bei der Wahl von $d' = \frac{3}{4} d$, wird $F = \frac{s}{3}$ u. s. f. Diese Methode bewährt sich besonders bei Drei- und Fünfleiteranlagen mit einem Isolationswiderstande von etwa 100 Ω. Das Instrument wird zwischen den Mittelleiter und Erde geschaltet. Als Nebenschlusswiderstand dient ein gewöhnlicher Widerstandskasten. Damit

der Widerstand des Instrumentes gegenüber dem Isolationswiderstande des Netzes groß sei, muss oft dem Instrumente ein Widerstand vorgeschaltet werden. In diesem Falle bedeutet g den Widerstand des Instrumentes sammt Vorschaltwiderstand. Der Nebenschlusswiderstand ist dem Galvanometerwiderstande sammt seinem Vorschaltwiderstande parallel zu schalten. Wenn die Fehlerwiderstände des positiven und des negativen Kabels in einem Dreileitersystem beinahe gleich sind, oder wenn der Mittelleiter fast stromlos ist, dann wird der Ausschlag, den man durch Schließung des Galvanometers an den Mittelleiter erhält, sehr klein. Man legt darum in einem solchen Falle das Galvanometer besser an einen Außenleiter. Als Nebenschlusswiderstand darf man dann wegen der auftretenden stärkeren Ströme keine gewöhnlichen Widerstandskästen verwenden.

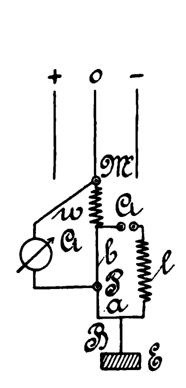
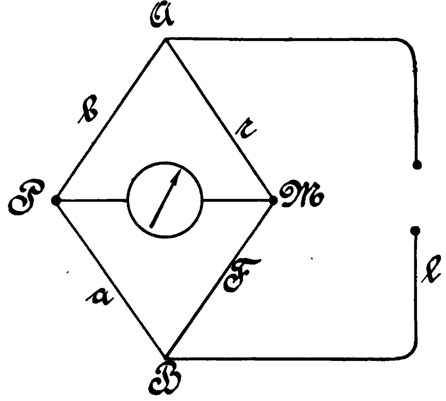


Fig. 396. Isolationsfehlermessung.


Fig. 397. Isolationsmessung.

Methode von Raphael. Diese Methode ist eine Abänderung der früheren. Bei derselben wird dem Instrument ein Widerstand parallel geschaltet, der ebenso groß ist, wie der Eigenwiderstand des Instrumentes. Wir schrieben

$$\frac{1}{F} = \frac{d'}{(d - d')\,s} - \frac{1}{g}.$$

Setzen wir in dieser Gleichung $g = s$, dann erhalten wir

$$F = \frac{d - d'}{2\,d' - d} \cdot g.$$

Diese Formel ist völlig genau. Das zur Messung verwendete Instrument soll einen Widerstand haben, der annähernd ebenso groß ist, wie der Isolationswiderstand.

Methode der Wheatstone'schen Brücke. In der Figur 396 ist das Schaltungsschema der Messanordnung gegeben, wenn man zur

Bestimmung des Isolationswiderstandes eines Dreileitersystemes eine Brücke mit ausgespanntem Messdraht und Schleifkontakt verwendet. a und b sind die Abtheilungen des Messdrahtes, P ist der Schleifkontakt, $r = w$ ein bekannter Widerstand, l mehrere parallel geschaltete Glühlampen und S ein Stromschlüssel. Dass diese Schaltung wirklich eine Wheatstone'sche Brückenschaltung ist, ersehen wir aus der Figur 397, in welcher das Schema in der bekannten Art gegeben ist. F bedeutet den Isolationswiderstand des Netzes. Der Schleifkontakt wird solange verschoben, bis das Galvanometer den gleichen Ausschlag gibt, ob der Schlüssel S offen oder geschlossen ist. Wir stellen demnach auf den falschen Nullpunkt ein. F folgt aus der Gleichung:

$$F = \frac{a}{b} \cdot r.$$

Wenn das Potential des Mittelleiters gegen Ende 0 ist, dann fließt durch die Brücke kein Strom. In einem solchen Falle schaltet man zu den Glühlampen l eine Batterie, aus einigen Elementen bestehend, in Serie, und vollführt die Messung in der gleichen, vorhin angegebenen Weise. Eine Messung der einzelnen Fehlerwiderstände gestattet diese Methode nicht.

Messung des Isolationswiderstandes von Netzen, die dauernd an Erde liegen. Bei manchen Netzen liegt ein Leiter blank in der Erde, wie z. B. der Mittelleiter eines Dreileitersystemes. In diesem Falle können die vorhin angegebenen Methoden nicht verwendet werden. Ein Sinken des Isolationswiderstandes äußert sich bei einem solchen Netze durch eine ungewöhnlich starke Zunahme der Stromstärke, ferner durch das Sinken der Spannung und schließlich auch durch das Schmelzen der Bleisicherungen. Die Erdung des Netzes in der Centrale erfolgt oft auch so, dass ein Leiter, der sonst vollständig isoliert ist, in der Centrale unter Zwischenschaltung eines Stromzeigers mit der Erde leitend verbunden wird. Tritt nun an irgend einer Stelle des Netzes plötzlich ein Fehler ein, dann wird der Stromzeiger auch eine plötzliche Stromänderung anzeigen. Der vom Mittelleiter durch den Stromzeiger zur Erde fließende Strom beträgt nach unseren früheren Ausführungen

$$I = \frac{\frac{1}{f_3} - \frac{1}{f_1}}{\frac{1}{F} + \frac{1}{g}} \frac{V}{g}.$$

Bei einem Zweileiternetze würde bei geerdetem, negativem Leiter die Stromstärke betragen:

$$I' = \frac{-\frac{1}{f_1}}{\frac{1}{F} + \frac{1}{g}} \frac{V}{g}.$$

Zur Messung des Isolationswiderstandes solcher Netze kann man die Raphael'sche Methode anwenden mit Zuhilfenahme einer einfachen von Raphael angegebenen Schaltung;

Die Erdung eines Netzes kann auch so erfolgen, dass die Speisepunkte des Netzes geerdet sind. Die Isolationsmessung eines solchen Netzes erfolgt so, dass einem leicht zugänglichen Speisepunkte ein Stromzeiger mit sehr geringem Widerstande zwischen Mitteleiter und Erde geschaltet wird, während die Mittelleiter an den anderen Speisepunkten unter Zwischenschaltung von Widerständen, die so groß sind wie der Stromzeigerwiderstand, an Erde gelegt werden. Die Stromstärke I, welche der Stromzeiger anzeigt, gibt uns ein Maß für den Isolationswiderstand des Netzes. Sind n Speisepunkte geerdet, dann ist

$$I = \frac{\frac{1}{f_3} - \frac{1}{f_1}}{\frac{1}{F} + \frac{n}{g}} \frac{V}{g}.$$

Bei einem Zweileiternetz würde ganz ähnlich der Strom I' betragen, wenn n Speisepunkte des negativen Leiters geerdet sind, so dass

$$I' = -\frac{\frac{1}{f_1}}{\frac{1}{F} + \frac{n}{g}} \cdot \frac{V}{g}.$$

Methode von Kallmann. Mit Hilfe dieser Methode bestimmt man nicht den Isolationswiderstand des Netzes unmittelbar, sondern man misst den Strom, der dadurch verloren geht, dass die Isolation des Netzes fehlerhaft ist. Die Messung wird so ausgeführt, dass man die Differenz der Stromstärken misst, die z. B. in 2 Leitern verschiedener Polarität fließen, oder am Anfange und am Ende einer und derselben Leitung auftreten. Diese Methode eignet sich sehr gut zur Bestimmung des Zustandes der Isolation bei solchen Netzen, welche ständig geerdet sind. Ebenso kann man mit Hilfe dieser Methode die Isolation eine Speiseleitung kontrollieren, ohne gezwungen zu sein, dieselbe vom Netz abzuschalten. Denken wir uns ein Zweileitersystem, Fig. 398. Unmittelbar hinter den Klemmen der Maschine sind in die Leitungen Stromzeiger geschaltet. Wenn die Leitungen fehlerlos sind, dann zeigen beide Stromzeiger den gleichen Strom an. Denken wir uns jedoch, die

negative Leitung besitze einen Erdschluss. In diesem Falle wird von der positiven Klemme ein Strom j zur Erde und von dort durch den Ableitungswiderstand der negativen Leitung und durch diese Leitung zur negativen Klemme der Maschine fließen. Der Stromzeiger *II* wird also nicht nur vom Betriebsstrom, sondern auch von dem zur negativen Maschinenschlemme fließenden Strome j durchflossen. Die Differenz der Ablesungen an den Stromzeigern *I* und *II* ergibt demnach den Erdstrom. Damit man auch kleine Erdströme zu konstatieren in der Lage ist, verwendet man an Stelle der beiden Stromzeiger ein empfindliches Galvanometer mit kleinem Widerstande. Die Schaltung dieses Instrumentes erfolgt wie die eines Differentialinstrumentes. Eine solche Schaltung für ein Zweileitersystem zeigt die Figur 399. Sowohl in die positive Leitung, als auch in die negative Leitung wird ein Widerstand w geschaltet. Von diesen Widerständen werden Zweigleitungen 1, 2, 3 und 4 zu den Klemmen des Instrumentes geführt. Fließt in der positiven Leitung der Strom i_1 und in der negativen Leitung der Strom $i_2 = i_1 + j$, dann herrscht an den Klemmen des Instrumentes die Spannung $i_1 w - i_2 w = w(i_1 - i_2) = - w - j$. Der Ausschlag des Instrumentes ist demnach dem Erdstrome proportional.

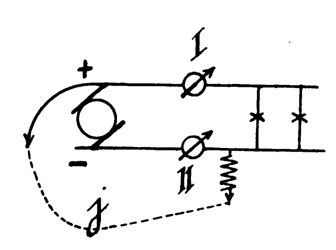


Fig. 398. Isolationskontrollsystem.

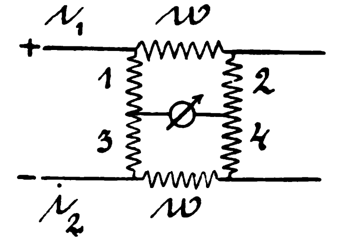


Fig. 399. Isolationskontrollsystem.

Figur 400 zeigt die Schaltung bei einem Dreileitersystem. Denken wir uns, der Fehlerstrom habe die Größe x. Im positiven Leiter fliesst der Strom i_1 im negativen Leiter der Strom i_2. Dann fließt im neutralen Leiter die Differenz der Ströme i_1 und i_2, also der Strom $i_1 - i_2$. Wir wollen annehmen, dass der Fehlerstrom x im positiven Leiter fließt. Die Spannung, die demnach an den Klemmen des Galvanometers herrscht, beträgt

$$(i_1 + x)\,w - i_2 w - (i_1 - i_2)\,w = x\,w.$$

Der Ausschlag am Galvanometer wird also wieder dem Fehlerstrome proportional.

Wechselstromniederspannungsnetze. Die bis jetzt besprochenen Methoden der Isolationsmessung, die sich bei Gleichstrom-

netzen anwenden lassen, können nicht ohne Weiters auch bei Wechselstromnetzen Verwendung finden. Zunächst gibt es keine Messinstrumente für Wechselstrom, die ebenso empfindlich und genau wären, wie die Gleichstromgalvanometer. Die Hitzdrahtinstrumente, die zwar eine genaue Messung zulassen, besitzen einen veränderlichen Widerstand, und da der Widerstand des Instrumentes in unseren Gleichungen eine Rolle spielt, wird das Resultat der Messung fehlerhaft. Eine weitere Quelle von Fehlern bei Wechselstrommessungen ist in dem Umstande zu suchen, dass die Leitungen Kapacität besitzen und der auftretende Ladungsstrom die Messung beeinflusst. Bei ausgedehnten Netzen, die eine große Kapacität besitzen, ist es unmöglich, eine Isolationsmessung mit Wechselstrom vorzunehmen. Kleine Anlagen, die eine geringe Kapacität besitzen, haben einen so großen Isolationswiderstand, dass die Wechselstrominstrumente nicht imstande wären, den kleinen, auftretenden Erdstrom nachzuweisen.

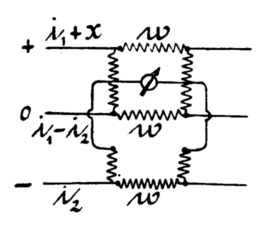


Fig. 400. Isolationskontrolsystem.

Isolationsmesser der Allgemeinen Electricitätsgesellschaft in Wien. Diese Firma hat einen Isolationsmesser konstruiert, der dazu dient, den Isolationswiderstand von solchen Netzen zu messen, welche eine geringe Kapacität und keinen allzu hohen Isolationswiderstand besitzen. Die Messung erfolgt mittels Wechselstromes mit der Betriebsspannung. Figur 401 zeigt ein schematisches Bild des Apparates. Die Primärwickelung A eines im Apparate untergebrachten Transformators wird an die Betriebsspannung gelegt. Die sekundäre Wickelung des Transformators besteht aus den beiden Wickelungen B und C. Die Wickelung B ist an die feste Wickelung eines Dynamometers angeschlossen. Die Wicklung C besitzt ebensoviele Windungen wie die Primärwickelung A, so dass die in C inducierte Spannung so groß ist, wie die Betriebsspannung. Die Wickelung C ist einerseits an die bewegliche Spule des Dynamometers und an Erde angeschlossen, andererseits steht sie mit der zu messenden Installation in Verbindung. Thatsächlich hat also die Spannung, welche zwischen Isolation und Erde herrscht, den gleichen Wert wie die Betriebsspannung. Der auftretende Erdstrom durchfließt die bewegliche Spule des Dynamometers. Der mit dieser Spule verbundene Zeiger schwingt an einer empirisch in Megohm

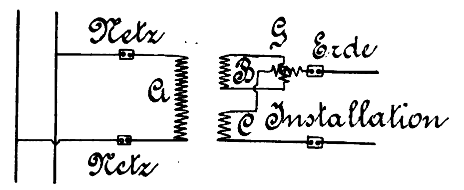


Fig. 401. Isolationsmessung.

getheilten Skala, an welcher man demnach den Isolationswiderstand direkt ablesen kann. Die Ablesung ist aber nur dann richtig, wenn sie bei der Spannung vorgenommen wird, für welche der Apparat gebaut ist. Man kann leicht mit Hilfe des Apparates eine Kontrolle der Spannung vornehmen. Man verbindet zu diesem Zwecke einfach die mit Erde und Installation bezeichneten Klemmen. Dadurch wird die bewegliche Spule mit der Wickelung C kurz geschlossen und wirkt das Dynamometer jetzt als Spannungszeiger, das die Spannung an einer zweiten unterhalb der ersten Theilung angebrachten Skala abzulesen gestattet. Ein solcher Apparat, der für die Betriebsspannung von 120 Volt gebaut ist, gestattet die Messung von Isolationswiderständen von 1 Megohm abwärts. Die Instrumente werden bis zu einer Betriebsspannung von 550 Volt gebaut.

Statt des Wechselstromes kann man während des Betriebes auch eine Isolationsmessung mittels Gleichstrom vornehmen. Die Messanordnung zeigt die Figur 402. Man verwendet zur Messung den Strom einer Batterie E, welcher Gleichstrom über dem in der Leitung fließenden Wechselstrom gelagert wird. Die Methode der Messung ist die des direkten Ausschlages. Mit Hilfe des Hebels eines Umschalters, welcher einmal auf den Punkt a das anderemal auf den Punkt b gelegt werden kann, wird der Batteriestrom einmal durch einen bekannten Widerstand W geschickt und das anderemal durch die zu messende Installation und Erde. Erhalten wir bei diesen Messungen die Ausschläge α und β am Galvanometer, dann gelten die Gleichungen:

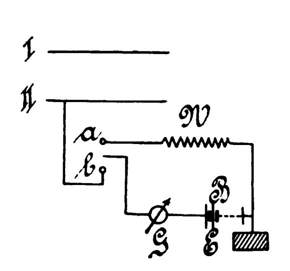


Fig. 402. Isolationsmessung.

$$W : R = \beta : \alpha \quad \text{und}$$

$$R = W \cdot \frac{\alpha}{\beta}.$$

R bedeutet den Isolationswiderstand der Installation. Man kann zur Bestimmung des Isolationswiderstandes von Wechselstromnetzen auch eine Wheatstone'sche Brückenschaltung verwenden, wenn man in den Zweig l in der Figur 396 eine Elementenbatterie schaltet.

130. Isolationsmessungen an Hochspannungsnetzen während des Betriebes. Wenn auch der Isolationswiderstand eines Hochspannungskabels sehr hoch ist, so gibt sich doch ein Isolationsfehler in einem Hochspannungsnetze gewöhnlich erst dann kund, bis ein völliger Erdschluss eintritt. Die Ursache hievon ist der Umstand,

dass der Isolationswiderstand eines einzigen Anschlusses an das Netz selten über 10 Megohm ansteigt, wenn auch der gewöhnliche Isolationswiderstand des Kabels mehrere hundert Megohm per *km* beträgt. Bevor also der Isolationswiderstand des Netzes im Betriebe soweit abgenommen hat, dass sich ein wesentlicher Unterschied in der Größe des Isolationswiderstandes ergibt, ist das Kabel gewöhnlich schon durchgeschlagen. Der Eintritt eines Erdschlusses gibt sich zumeist durch eine ungewöhnlich hohe Stromabgabe der Maschine in der Centrale kund. Ferner gibt auch ein Erdschluss zu sehr starken Telephonstörungen Anlass. Man kann dann durch Absuchen derjenigen Apparate, in welchen sich die Störungen am meisten geltend machen, annähernd den Ort des Fehlers leicht bestimmen.

Gleichstromhochspannungsnetze. Zur Messung des Isolationswiderstandes von Gleichstromhochspannungsnetzen eignet sich die Methode von Frisch. Bei Ausführung dieser Messung wird dem Spannungszeiger ein gut isolierter Widerstand vorgeschaltet. Als Widerstand kann man auch eine Reihe von Glühlampen verwenden. Bei Ausführung dieser Hochspannungsmessungen ist es zu vermeiden, die nothwendigen Drahtverbindungen während des Betriebes vorzunehmen. Aus diesem Grunde verwendet man zur Vornahme der Messungen ein eigenes, kleines Schaltbrett, an dem die nothwendigen Drahtverbindungen ein- für allemal gemacht sind. Zu erwähnen wäre, dass sich die Methode von Frisch bei Messungen von Gleichstromhochspannungsnetzen nur dann eignet, wenn in dem Netze kein dauernd geerdeter Leiter vorkommt. Um die Erdung eines Leiters bei Vornahme der Messung zu vermeiden, kann man auch bloß das Potential jedes Leiters gegen Erde mittels eines elektrostatischen Spannungszeigers messen. Natürlich kann man dadurch den Isolationswiderstand nicht messen. Nehmen wir die Messung mittels eines elektrostatischen Spannungszeigers an einem Zweileitersystem vor, und bezeichnen wir die gemessenen Potentiale mit P_1 und P_2, die Fehlerwiderstände mit f_1 und f_2, dann gelten nach Früherem folgende Gleichungen:

$$P_1 = \frac{V\frac{1}{f_2}}{\frac{1}{F}} \quad \text{und} \quad P_2 = \frac{V\frac{1}{f_1}}{\frac{1}{F}} \quad \text{daraus folgt:}$$

$$f_1 = \frac{V.F}{P_2} \text{ und } f_2 = \frac{V.F}{P_1}.$$

In diesen Gleichungen bedeutet noch V die Netzspannung und F den Isolationswiderstand des Netzes. Wir ersehen aus den letzten beiden



Gleichungen, dass der Fehlerwiderstand je eines Kabels verkehrt proportional ist dem Potential des anderen Kabels gegen Erde. Die Größe F kann man aus den Gleichungen nicht berechnen. Das schon besprochene Instrument der Firma Hartmann & Braun zür Vornahme von Isolationsmessungen wird auch für Gleichstromhochspannungsnetze gebaut.

Wechselstromhochspannungsnetze. Durch gewöhnliche Messungen ist die Bestimmung des Isolationswiderstandes von Wechselstromhochspannungsnetzen während des Betriebes noch weniger möglich, als bei Wechselstromniederspannungsanlagen, weil sich bei ersteren die Kondensatorerscheinungen des Netzes noch mehr geltend machen, als bei letzteren. Man verzichtet darum bei diesen Netzen auch auf eine Bestimmung des Isolationswiderstandes und misst bloß die Potentiale der einzelnen Leiter gegen Erde. Bei gleich bleibendem Isolationszustand des Netzes bleiben auch die Potentialwerte dieselben. Sinkt aber z. B. das Potential des einen Leiters gegen Erde, während gleichzeitig das Potential des anderen Leiters steigt, dann ist aller Wahrscheinlichkeit nach ein Fehler in dem ersten Leiter aufgetreten. Wird an das Netz eine Kabelstrecke neu angeschaltet, so werden dadurch die Kapacitätsverhältnisse der Leiter oft beträchtlich geändert und die Potentialwerte der Leiter gegen Erde ändern sich, ohne dass deshalb ein Fehler in dem Netze aufgetreten wäre. Darum wird die zuzuschaltende Kabelstrecke für sich in Bezug auf ihren Isolationswiderstand untersucht, und die nach Anschaltung der neuen Strecke sich einstellenden Potentialwerte der Leiter von nun an als die normalen angesehen. Leicht ist es, einen Fehler in einem Dreiphasenstromnetze mit Sternschaltung zu erkennen. Besitzen die drei Leitungen des Netzes gleiche Kapacität und gleichen Isolationswiderstand, dann besitzt der neutrale Punkt gegen Erde das Potential 0. Tritt nun in einem Leiter ein Isolationsfehler ein, dann zeigt der Spannungszeiger eine Spannungsdifferenz an. Misst man nun noch die Spannungsdifferenzen der einzelnen Leiter gegen Erde, dann ist das Kabel das fehlerhafte, welches gegen Erde den kleinsten Potentialwert zeigt. Zur Messung dieser Potentialwerte kann man sich eines elektrostatischen Spannungszeigers bedienen, den man dauernd an das Netz angeschlossen lassen kann. Eine andere Art der Messung dieser Werte ist die mit Hilfe von Messtransformatoren und Niederspannungsinstrumenten. Eine derartige Messanordnung zeigt die Figur 403. Die Hochspannungswickelung des Transformators ist an den Leiter und an Erde gelegt, die Niederspannungswickelung ist an den Spannungszeiger geschlossen. Bei koncentrischen Netzen verwendet man oft die folgende in Figur 404 dargestellte Messmethode. Während

man einen Leiter über ein elektrostatisches Instrument an Erde legt, wird der zweite Leiter über einen Widerstand r mit der Erde leitend verbunden. Mittels eines Stromwenders werden dann die Anschlüsse des Spannungszeigers und des Widerstandes vertauscht. Diese Methode ist auch geeignet, den Isolationswiderstand eines Netzes ziffernmäßig zu bestimmen, wenn nur der Ladestrom des Netzes klein ist, so dass er die Ablesungen am Spannungszeiger wenig beeinflusst. Bezeichnen wir die Leiter mit I und II, dann folgt leicht nach ähnlichen Betrachtungen, wie bei der Erklärung der Methode von Frisch, für P_{II}, wenn der Leiter I mit Hilfe des Widerstandes r geerdet ist,

$$P_{II} = \frac{V\left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{r}\right)}{\frac{1}{F} + \frac{1}{r}}.$$

Legen wir jetzt den Stromwender um und messen wir den Wert P_1, dann erhalten wir:

$$P_I = \frac{V\left(\frac{1}{f_2} + \frac{1}{r}\right)}{\frac{1}{F'} + \frac{1}{r}}.$$

V, f_1, f_2, F haben die gleiche Bedeutung wie früher.

$$P_I + P_{II} = V\frac{\frac{1}{F} + \frac{2}{r}}{\frac{1}{F} + \frac{1}{r}} \text{ und}$$

$$F = \frac{P_I + P_{II} - V}{2V - (P_1 + P_{II})} \cdot r.$$

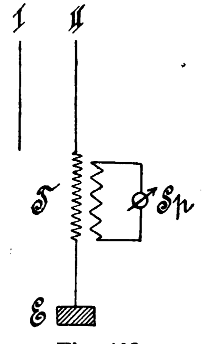


Fig. 403.
Isolationsmessung.

Der Cardew-Isolationsmesser besteht aus 2 elektrostatischen Spannungszeigern. Jeder Leiter des Netzes wird mit je einer Platte verbunden, an die sich eine dünne Zinnfolie lehnt, die am oberen Rande der Platte befestigt ist. Nach Anschluss der Klemmen an die Leitungen werden die Zinnfolien von den Platten abgestoßen und spielen an einer getheilten Skala. Die Größe des Ausschlages gestattet relative Abschätzung des Isolationszustandes des Leiters. Das Gehäuse des Instrumentes ist geerdet.

Zu erwähnen wäre noch der Gebrauch von elektrodenlosen Vakuumröhren zur Prüfung der Isolation von Leitern des Netzes. Die Methode eignet sich bei Netzen, die aus verseilten Kabeln bestehen. Bei solchen Kabeln haben die beiden Leiter nahezu gleiche Fehler-

widerstände und Kapacitäten. Auch die Potentialwerte der Leiter gegen Erde sind darum annähernd gleich. Schaltet man nun zwischen einem der Leiter und zwischen Erde eine Vakuumröhre, dann leuchtet dieselbe auf. Wird einer der Leiter fehlerhaft, dann leuchtet die Vakuumröhre, an diesen Leiter angelegt, weniger hell als zuvor, am andern Leiter angelegt, intensiver.

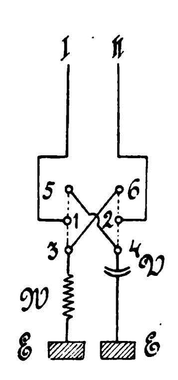


Fig. 404. Isolationsmessung.

131. Allgemeine Methoden der Fehlerbestimmung.

Schleifenmethoden. Diese Methoden zur Auffindung des Fehlerortes eines Kabels lassen sich nur bei solchen Netzen anwenden, in welchen es gelingt, von der Prüfstelle aus eine geschlossene Schleife zu bilden über den Fehlerort und zur Prüfstelle zurück. Solche Schleifen können auf mancherlei Art hergestellt werden, nur ist als Regel zu beachten, dass die nothwendigen Trennungen und Verbindungen von Leitungen den Betrieb möglichst wenig stören sollen. Wir wollen an der Hand der in Figur 405 dargestellten Skizze eines Leitungsnetzes zeigen, in wie verschiedener Weise man eine Schleife herstellen kann. G und H sind die Hauptleitungen des Systemes, $a_1\ a_2 \ldots . b_1 b_2 \ldots .$ Speiseleitungen und R, S Anschlussleitungen. Denken wir uns, der Fehler sei an der in der Figur bezeichneten Stelle aufgetreten, und der Ort des Fehlers sei in der Centrale, also dort, wo sich die Enden der Leitungen $a_1 \ldots . . b_1 \ldots . .$ befinden. Eine Art der Schleifenbildung geschieht mit Hilfe zweier Speiseleitungen und einem Theile der fehlerhaften Hauptleitung. Eine solche Schleife ist etwa b_2 B_2 B_3 b_3. Verbindet man die beiden Hauptleitungen G und H miteinander, dann kann man etwa die folgende Schleife bilden: $a_2\ G\ H\ b_2$. Verbindet man schließlich die Punkte R und S der Anschlussleitung, dann erhält man z. B. folgende Schleife: $a_4\ A_4\ M\ Q$ $S\ R\ P\ N\ B_2\ b_2$. Auf ähnliche Weise, wie wir es hier besprochen haben, gelingt auch die Bildung von Schleifen bei einem Ringsystem.

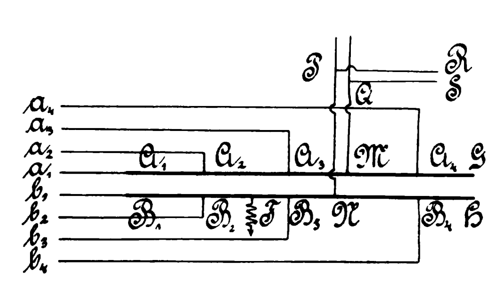


Fig. 405. Schleifenmethode.

Die einzelnen Theile einer solchen Schleife bestehen meist aus Kabelstücken verschiedenen Querschnittes. Um die Rechnung zu er-

leichtern, reduciert man die Länge der Schleife auf eine solche Länge, wie sie ein in Bezug auf den Leitungswiderstand äquivalentes Kabel hat, welches den gleichen Querschnitt wie das fehlerhafte Kabel besitzt.

Murray's Schleifenmethode. Diese Methode, welche wir schon im Kapitel über Kabelmesstechnik besprochen haben, beruht auf dem Principe der Wheatstone'schen Brücke. Die gebildete Schleife entspricht zwei Brückenwiderständen. Die Theilung der Schleife erfolgt durch den Ort des Fehlers. Die Widerstände der Zuleitungsdrähte von der Kabelschleife zum Instrumente müssen selbstverständlich bei der Messung berücksichtigt werden. Das bei der Messung zu verwendende Galvanometer muss ein empfindliches sein. Als Batterie genügt gewöhnlich eine solche aus mehreren Akkumulatoren oder Trockenelementen bestehende. Beträgt der Fehlerwiderstand jedoch 1000 Ohm und darüber, dann kann man sogar eine Dynamomaschine als Stromquelle benützen.

Varley's Schleifenmethode. Die vorzunehmende Schaltung zeigt Fig. 406. a und b sind Vergleichswiderstände. b wird gewöhnlich 1000, a gewöhnlich 10 gewählt. L ist der Widerstand der Kabelschleife K, l ihre Länge. Die Entfernung des Fehlerortes F vom Punkte M*) beträgt x, der Widerstand dieser Kabelstrecke X. d ist ein Widerstand. Die Messung zerfällt in 2 Theile. Zunächst wird mit Hilfe der in der Figur dargestellten Schaltung die Länge x bestimmt, indem man den Widerstand d solange abgleicht, bis die Galvanometernadel auf 0 gebracht ist. Dann wird der bis jetzt an Erde angelegte Pol der Batterie an den Punkt M der Brücke angeschlossen. Mit Hilfe dieser Schaltung kann man den Widerstand X bestimmen. Es besteht nämlich die folgende Gleichung:

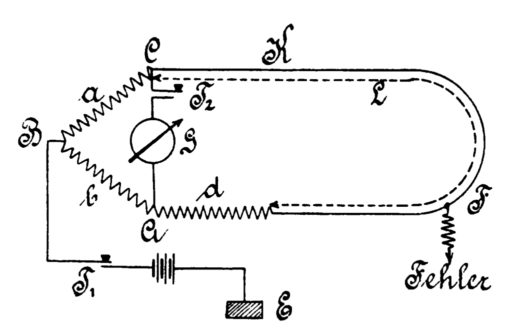


Fig. 406. Schleifenmethode.

$$\frac{a}{b} = \frac{L - X}{X + d},$$

denn die zweite Schaltung ist die einer gewöhnlichen Wheatstone'schen Brücke.

*) M ist in der Figur nicht ersichtlich; es ist der Punkt, in welchem sich der Pfeil x (rechts von d) befindet.

Aus der letzten Gleichung folgt:

$$Xa + ad = Lb - Xb \text{ und}$$
$$X(a+b) = Lb - ad \text{ somit}$$
$$X = \frac{Lb - ad}{a+b}.$$

Es gilt auch die folgende Gleichung:
$X : L = x : l$, daraus folgt:

$$X = \frac{x}{l} L.$$

Setzen wir diesen Wert in den oben gefundenen für x ein, dann erhalten wir:

$$\frac{x}{l} L = \frac{Lb - ad}{a+d} \text{ und}$$
$$x = l \frac{(Lb - ad)}{L\ (a+b)}.$$

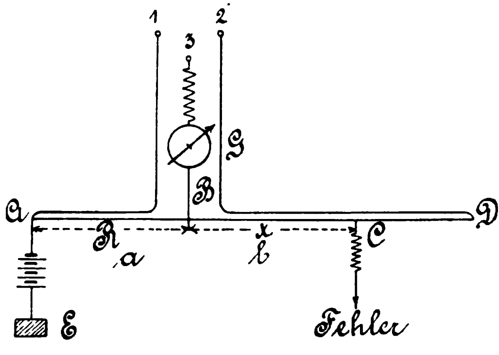


Fig. 407. Methode des Spannungsabfalles.

Methoden des Spannungsabfalles. Im Schema Figur 407 bedeutet BD eine Kabelstrecke, die im Punkte C einen Erdschluss besitzt. AB ist ein gesundes Kabelstück vom Widerstande R. Der Widerstand des fehlerhaften Kabels von B bis C beträgt x, die Länge dieses Kabelstückes beträgt b. An den Punkt A wird eine Batterie angeschlossen. Das verwendete Galvanometer ist ein solches mit hohem Widerstande, eventuell wird demselben ein Widerstand vorgeschaltet. Verbinden wir die Punkte 1 und 3 miteinander, dann liegt das Galvanometer an den Punkten AB, das ist an den Endpunkten des Kabels von der Länge a und dem Widerstande R. Denken wir uns, der von der Batterie gelieferte Strom, der durch R und x fließt, betrage i, dann liegt also in diesem Falle das Galvanometer an einer Spannung iR. Verbinden wir die Punkte 2 und 3, dann liegt das Galvanometer an einer Spannungsdifferenz ix. Betragen die Ausschläge am Galvanometer bei diesen zwei Messungen d_1 und d_2, dann besteht die Gleichung:

$\frac{d_1}{d_2} = \frac{iR}{ix} = \frac{R}{x}$, woraus folgt:

$$x = R . \frac{d_2}{d_1}.$$

Da $\frac{X}{R} = \frac{b}{a}$, können wir auch schreiben:

$$b = a \frac{d_2}{d_1}.$$

Zur Verbindung der Punkte B und D mit der Prüfstation können Prüfdrähte oder sonstige gut isolierte Leitungen verwendet werden. Die anzuwendende Stromstärke darf nicht so groß sein, dass eine Erwärmung der Kabel eintritt. Die Stromstärke muss während der Messung konstant gehalten werden. Man führt darum die endgiltige Messung erst dann aus, bis man sich überzeugt hat, dass die Stromstärke konstant bleibt, was einige Minuten dauern kann, da ja der Messtrom auch durch den Fehlerwiderstand fließt und dieser einen veränderlichen Wert besitzt. Man muss die Ablesungen solange wiederholen, bis man annähernd konstante Werte erhält. In den Stromkreis der Batterie wird auch ein Stromzeiger und ein Regulierwiderstand geschaltet, um mit Hilfe desselben die Stromstärke konstant halten zu können.

Die Schleifenmethoden sind einfacher durchzuführen, als die Methoden des Spannungsabfalles. Man kann auch oft bei den Schleifenmethoden ein Telephon anwenden, sowie einen Kontaktapparat zur Herstellung der Stromimpulse. Diese Methode erfordert jedoch bei ihrer Ausführung mehr Zeit und dann können auch bei Verwendung des pulsierenden Stromes infolge der verschiedenen Kapacitäten und Selbstinduktionen Fehler in den Ablesungen eintreten.

Fehlerbestimmungen ohne Rückleitung.

Zum Zwecke der Ausführung einer solchen Messung bedient man sich am besten zweier Galvanometer nach Deprez d'Arsonval, die man bei der folgenden Messanordnung verwendet. Dieselbe ist in der Figur 408 dargestellt. Das Galvanometer 2, das auch durch einen Stromzeiger ersetzt werden kann und für schwache Ströme empfindlich ist, dient dazu, die von der Batterie gelieferte Stromstärke genau zu kontrollieren. Der Strom wird durch Verändern des Widerstandes d konstant erhalten. Das Galvanometer 1 erhält einen Vorschaltwiderstand h, der so groß ist, dass der Widerstand des Galvanometerkreises überwiegend größer ist, als der Widerstand des übrigen Stromkreises. Verbindet man die Punkte 1 und 2 miteinander, dann gebe das Galvanometer einen Ausschlag d_1. Bei der Verbindung der Punkte 2 und E erhalte man den Ausschlag d_2. Nun geht man mit dem Galvanometer und der Ableseskala nach dem freien Endpunkte D des fehlerhaften

Kabels und schaltet auch hier dem Galvanometer den Widerstand h vor. Bei der Aufstellung des Galvanometers und der Skala im Punkte D ist selbstverständlich darauf zu achten, dass die gegenseitige Lage von Galvanometer und Skala dieselbe ist, wie im Punkte B. Nehmen wir an, der Ausschlag des Galvanometers im Punkte D betrage d_3. Wir erkennen hier auch den Vortheil der Verwendung eines d'Arsonval-Galvanometers. Dieses Galvanometer ist unabhängig von der Horizontalkomponente des Erdmagnetismus und von benachbarten Magnetfeldern. Es wird sich also die Konstante des Instrumentes nicht ändern, wenn auch die magnetischen Verhältnisse im Punkte D andere sind, wie im

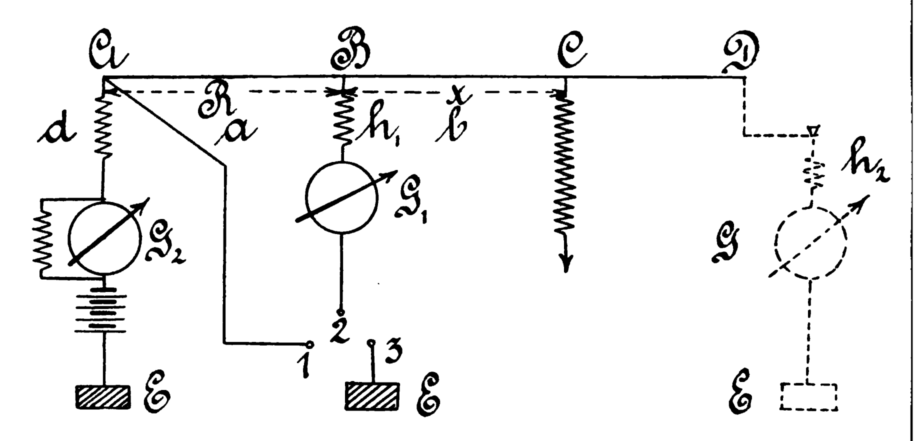


Fig. 408. Fehlerbestimmung ohne Rückleitung.

Punkte B. Bezeichnen wir die äquivalente Länge des gesunden Kabels AB mit a und die Entfernung des Fehlerpunktes C vom Punkte B mit b, dann erhalten wir:

$$b = \frac{d_2 - d_3}{d_1} \cdot a.$$

Ein specieller Fall einer derartigen Fehlerbestimmung wäre der, wo es sich darum handelt, einen Fehler an einem solchen Kabel zu bestimmen, bei dem der Fehlerwiderstand klein, gegenüber dem Widerstande des Kabels und überdies fast konstant ist. Eine für diesen Fall geeignete Methode ist in der Figur 409 schematisch dargestellt. Die Schaltung ist eine Brückenschaltung. Die Einstellung erfolgt auf den falschen Nullpunkt. Es werden mit Hilfe der Brücke 2 Widerstandsmessungen gemacht. Nennen wir die Endpunkte des fehlerhaften Kabels 1 und 2. Die Länge des Kabels betrage l *m*, der Widerstand pro *m* sei s Ohm. Das fehlerhafte Kabel wird nun einmal mit dem Punkte

1 das anderemal mit dem Punkte 2 an den Punkt D der Brücke gelegt. Der bei der Verbindung des Punktes 1 mit dem Punkte D gemessene Widerstand betrage r_1, der bei der Verbindung des Punktes 2 mit dem Punkte D der Brücke gemessene Widerstand betrage r_2. Es ist dann

$$r_1 = x + f + e,$$

wenn x der Widerstand des Kabels ist vom Punkte 1 bis zum Fehlerpunkte, f der Widerstand des Fehlers und e der Übergangswiderstand zur Erde in der Prüfstation. Legen wir jetzt das Kabel mit dem Punkte 2 an D, dann messen wir

$$r_2 = (l \,.\, s - x) + f + e.$$

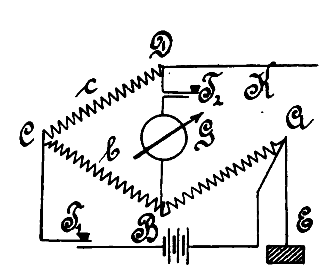


Fig. 409. Fehlerbestimmung.

$. s - x$ ist der Widerstand des Kabeltheiles, der jetzt gemessen wird. Aus den beiden Gleichungen folgt:

$$r_1 - r_2 = 2\,x - l \,.\, s, \text{ somit}$$

$$x = \frac{r_1 - r_2 + l \,.\, s}{2}.$$

Der Abstand des Fehlers vom Punkte 1 ist also in Metern

$$a = \frac{x}{s} = \frac{r_1 - r_2 + l \,.\, s}{2\,s}.$$

Bei Ausführung dieser Messung müssen natürlich der Fehlerwiderstand und der Übergangswiderstand zur Erde konstant sein. Zur Ausführung dieser Methode kann man auch eine Brücke mit ausgespanntem Messdraht verwenden.

Blavier's Methode. Diese Methode ist einfacher auszuführen, als die vorhergehende, weil die Messungen nur an einem Kabelende durchgeführt zu werden brauchen. Auch hier werden 2 Messungen vorgenommen. Beide Messungen erfolgen bei Anschluss eines und desselben Kabelendes an den Punkt D der bei der früheren Methode gezeichneten Brücke. Nur ist bei der ersten Messung das andere Kabelende frei, bei der zweiten Messung geerdet. Bei diesen Messungen erhalten wir wieder die Werte r_1 und r_2. Wieder ist

$$r_1 = x + f + e, \text{ woraus folgt:}$$
$$f + e = r_1 - x.$$

Bei Ausführung der zweiten Messung ist, wie wir gesagt haben, das zweite Kabelende geerdet, so dass während dieser Messung der Theil des Kabels vom Fehlerwiderstand bis zum geerdeten Ende parallel zum Fehlerwiderstande liegt. Es ist demnach

$$r_2 = x + \frac{(f+e) \,.\, (l \,.\, s - x)}{(f+e) + (l \,.\, s - x)}.$$

Setzen wir für $f+e$ den Wert $r_1 - x$ in die Gleichung ein, dann erhalten wir

$$r_2 = x + \frac{(r_1 - x)\,(l \,.\, s - x)}{r_1 - x + l \,.\, s - x}.$$

Aus dieser Gleichung folgt:

$$x^2 - 2\, r_2\, x = (r_1 - r_2)\, l \,.\, s - r_1\, r_2.$$

Diese Gleichung gibt für x allerdings 2 Lösungen, doch ist nur eine Lösung zu verwenden. Es muss nämlich selbstverständlich der Wert von x kleiner sein, als der Wert von r_2, da doch x nur ein Theil des Widerstandes r_2 ist. Der zu verwendende Wert von x ist demnach

$$x \doteq r_2 - \sqrt{(r_1 - r_2)\,(l \,.\, s - r_2)}.$$

Der Abstand des Fehlerpunktes vom Kabelende, an welchem die Messungen vorgenommen werden, ist demnach

$$a = \frac{x}{s} = \frac{r_2 - \sqrt{(r_1 - r_2)\,(l \,.\, s - r_2)}}{s}.$$

Methode von Frölich zur Bestimmung von Fehlern in einem Netz mit vielen Speiseleitungen.

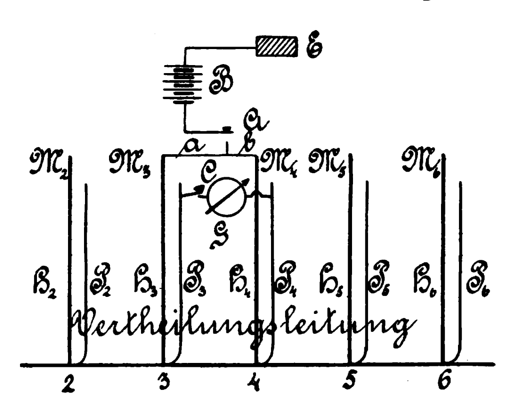


Fig. 410. Fehlerbestimmung.

Das Schema eines Theiles eines solchen Netzes zeigt die Fig. 410. Wir sehen in der Figur die Vertheilungsleitung mit den Speisepunkten 2, 3, 4, 5 und 6. $H_2 \ldots . H_6$ sind Speiseleitungen, $P_2 \ldots . P_6$ die dazugehörigen Prüfdrähte. Zuerst sucht man festzustellen, in welchem Abschnitte der Vertheilungsleitung zwischen 2 Speisepunkten der Fehler sich befindet. Zu diesem Zwecke werden in der Centrale die Speiseleitungen mit ihren Prüfdrähten vom Schaltbrette abgenommen, welche zu dem Strange führen, in welchem sich der Fehler befindet. Nun macht man in der Centrale die in der Figur angegebene Schaltung zwischen 2 benachbarten Speiseleitungen und ihren Prüfdrähten. Zwischen die Prüfdrähte 3 und 4 wird ein Galvanometer g geschaltet, zwischen die Punkte M_3 und M_4 der Speiseleitungen ein Schleifdraht, an dessen Schleifkontakt eine mit ihrem zweiten Pole geerdete Batterie ange-

schlossen wird. Wir erkennen, dass diese Schaltung die der Murray'schen Schleifenmethode ist. Das Stück $\overline{3\ 4}$ der Vertheilungsleitung bildet die Schleife. Durch Verschieben des Kontaktes C wird nun versucht das Galvanometer auf 0 zu bringen. Das gelingt natürlich nur dann, wenn der Fehler im Kabel zwischen den Punkten 3 und 4 liegt. Gelingt es durch das Verschieben des Kontaktes C bloß die Galvanometernadel ihrer Ruhelage zu nähern, dann liegt der Fehler nicht in jenem Theile der Vertheilungsleitung, zwischen deren Speiseleitungen die Schaltung gemacht wurde. Man übergeht nun zur Untersuchung des dem Theile $\overline{3\ 4}$ benachbarten Theiles des Stranges, der in der Richtung jenes Endes des Schleifdrahtes liegt, nach welchem man den Kontakt C verschieben musste, um bei der früheren Messung die Nadel ihrer Ruhelage zu nähern. Angenommen, wir mussten uns mit dem Kontakte C dem Punkte b nähern, dann müssen wir die zweite Messung zwischen den Speiseleitungen der Punkte 4 und 5 machen. Gelingt es bei dieser Messung die Galvanometernadel auf 0 zu bringen, dann ist der Fehler in der Vertheilungsleitung zwischen den Punkten 4 und 5. Es wäre auch folgender Fall denkbar. Sowohl bei der Messung 1 als auch bei der Messung 2 gelingt es, die Galvanometernadel auf 0 zu bringen. Wir müssen jedoch bei der Messung zwischen den Punkten 3 und 4 den Schleifkontakt gegen den Punkt M_4, bei der Messung zwischen den Punkten 4 und 5 den Schleifkontakt ebenfalls gegen M_4 bewegen, um die Nadel in ihre Ruhelage zu bringen. In diesem Falle ist der Fehler in der im Punkte 4 angeschlossenen Speiseleitung. Um nun den Ort des Fehlers zu bestimmen, wird das Galvanometer zwischen die Punkte 4 und 5 geschaltet. Die Schleife bei dieser Schaltung lautet also $M_4 - 4 - 5 - M_5$. Bei der Nullstellung des Galvanometers beträgt dann der Abstand des Fehlerpunktes vom Punkte M_4

$$x = \frac{a}{a+b}\, l,$$

wenn wir mit l die äquivalente Länge der Schleife bezeichnen. Wenn der Fehler in einem Abschnitte des Vertheilungsleiters liegt, dann wird dieser Theil besonders untersucht, um den Ort des Fehlers genau festzustellen. Man macht die gleiche Schleifenmessung wie bei den ersten Messungen, nur verwendet man als Schleife den Theil des Kabels, der zwischen 2 Muffen liegt, und in dem sich gemäß dem Resultate der ersten Messungen der Fehler vorfinden muss.

K u r z s c h l ü s s e z w i s c h e n 2 L e i t e r n. Ein solcher Kurzschluss kann sehr leicht zwischen 2 Leitern eines Mehrfachkabels eintreten. Enthält das Kabel nur 2 Leiter, dann kann man einen Leiter als „Erde"

annehmen und irgend eine der diesbezüglichen, besprochenen Methoden verwenden. Die Schleifenmethode lässt sich nur dann anwenden, wenn noch eine fehlerlose Leitung zur Verfügung steht. Bei einem Drehstromkabel ist das der Fall. Bei einem Zweileiterkabel muss man, um die Schleifenmethode zur Durchführung bringen zu können, noch eine besondere Rückleitung verwenden.

Brückenmethode. Es sei in Figur 411 $\overline{AB}$ die aus 2 Leitungen bestehende Kabelstrecke, in welcher im Punkte C ein Kurzschluss zwischen den Leitungen eingetreten ist. Bezeichnen wir mit l die Länge der Kabelstrecke, mit m die Entfernung des Fehlerpunktes vom Ende A der Kabelstrecke und mit f den Widerstand des Fehlers. Der Widerstand eines Kabelleiters pro Meter betrage s. Der Fehlerort C wird nun einfach mittels zweier Widerstandsmessungen bestimmt. Man misst einmal den Widerstand der beiden Leitertheile von A bis C und

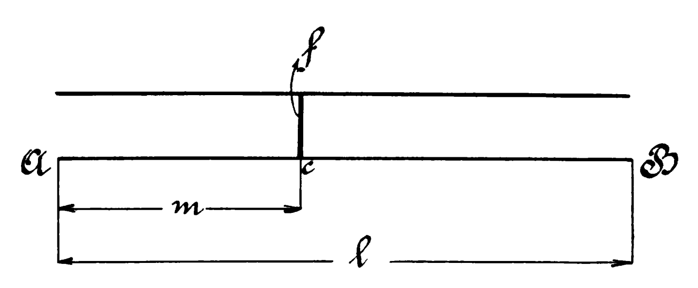


Fig. 411. Brückenmethode.

des Fehlers, indem man zwischen den beiden Enden A der Leiter mittels einer Brückenschaltung den Widerstand bestimmt. Der erhaltene Wert

$$r_1 = m \,.\, s + f + m \,.\, s = 2\, m\, s + f.$$

Nun macht man die gleiche Messung zwischen den Enden B der beiden Leiter und erhält

$$r_2 = 2\ (l - m)\ s + f.$$

Subtrahieren wir nun den Wert r_2 vom Werte r_1, dann bekommen wir

$$r_1 - r_2 = 2\, m\, s + f - 2\ (l - m)\ s - f =$$
$$= 2\, m\, s + f - 2\, l\, s + 2\, m\, s - f =$$
$$= 4\, m\, s - 2\, l\, s; \text{ daraus folgt:}$$
$$4\, m\, s = r_1 - r_2 + 2\, l\, s \quad \text{und}$$
$$m = \frac{r_1 - r_2 + 2\, l\, s}{4\, s}.$$

Blavier's Methode. Bei dieser Methode finden 2 Widerstandsmessungen an einem und demselben Ende der Kabelstrecke statt, nur werden bei der einen Messung die Leitungen am entfernteren Ende frei gelassen, bei der zweiten Messung werden dieselben mit einander verbunden. Verwenden wir die gleichen Bezeichnungen wie im vorhergehenden Falle. Die beiden Widerstandsmessungen ergeben die Werte r_1 und r_2. Wie früher ist

$$r_1 = 2\,m\,s + f.$$

Bei der zweiten Messung liegt der Widerstand $2\,(l—m)$ parallel zum Widerstande f. Wir erhalten demnach

$$r_2 = 2\,m\,s + \frac{f.\,2\,(l—m)\,s}{f + 2\,(l—m)\,s}.$$

Aus der Gleichung für r_1 folgt:

$$f = r_1 - 2\,m\,s.$$

Setzen wir diesen Wert in die Gleichung für r_2 ein, dann erhalten wir

$$r_2 = 2\,m\,s + \frac{(r_1 - 2\,m\,s)\;2\,(l - m)\,s}{r_1 - 2\,m\,s + 2\,(l - m)\,s}.$$

Diese Gleichung nach m aufgelöst gibt:

$$m = \frac{r_2 - \sqrt{(r_1 - r_2)\,(2\,l\,s - r_2)}}{2\,s}.$$

Methode der Wheatstone'schen Brückenschaltung. Diese Methode ist in den Figuren 412 und 413 dargestellt. Bedingung für die Anwendbarkeit dieser Methode ist, dass lediglich ein Kurzschluss zwischen den beiden Leitungen besteht, während der Isolationszustand des Kabels sonst ein guter ist. Man macht zunächst eine Brückenschaltung, wie sie in der Figur 412 dargestellt ist. $\overline{MN}$ und $\overline{HK}$ sind die beiden Leitungen der Kabelstrecke. x ist der Widerstand der Leitung $\overline{MN}$ vom Fehlerorte bis zum Punkte M, y der Widerstand der gleichen Leitung vom Fehlerorte bis zum Punkte N. Die Leitung $\overline{MN}$ findet nun als Brückendraht Verwendung, wobei das Ende M mit den Brückendrähten entsprechend verbunden wird, während man das Ende N

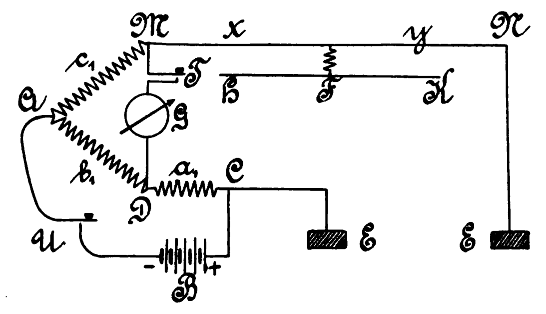


Fig. 412. Brückenschaltung.

erdet. Nehmen wir an, dass im Falle des Brückengleichgewichtes die verwendeten Widerstände die Werte haben a_1, b_1 und d_1 dann besteht, wenn wir noch mit e den Widerstand der Verbindungsleitungen mit der Erde bezeichnen, die Gleichung:

$$\frac{x + y + e}{a_1} = \frac{d_1}{b_1}.$$

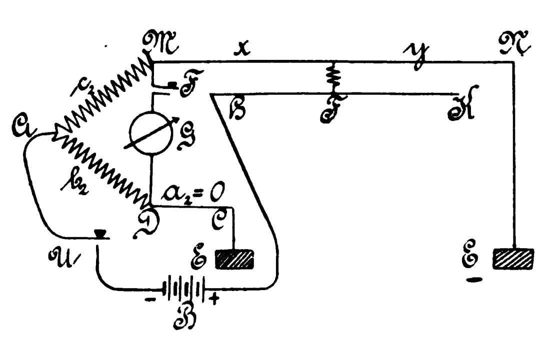


Fig. 413. Brückenschaltung.

Bei der hierauf vorzunehmenden Messung wird die in der Figur 413 dargestellte Schaltung verwendet. Der Pol der Batterie, der früher an Erde lag, wird jetzt mit dem Endpunkte H der zweiten Leitung des Kabels verbunden. Der Punkt C bleibt geerdet und statt des Widerstandes a_1 wird der Widerstand $a_2 = o$ eingeschaltet. Bringt man wieder die Galvanometernadel in die Ruhelage und geschah dies mit Hilfe der Widerstände b_2 und d_2, dann gilt die Gleichung:

$$\frac{x}{y + e} = \frac{d_2}{b_2}, \text{ woraus folgt:}$$

$$y + e = \frac{x\, b_2}{d_2}.$$

Dieser Wert für $y + e$ wird in die Gleichung eingesetzt, die der ersten Messung entspricht. Wir erhalten dann:

$$\frac{x + \dfrac{x\, b_2}{d_2}}{d_1} = \frac{d_1}{b_1} \text{ oder}$$

$$\frac{x\left(1 + \dfrac{b_2}{d_2}\right)}{a_1} = \frac{d_1}{b_1};$$

daraus folgt:

$$x = \frac{d_1\, d_2}{b_1(b_2 + d_2)} a_1.$$

Bezeichnen wir die Länge der Leitung vom Widerstande x mit m, und ist s der Widerstand der Leitung per Meter, dann ist

$$m = \frac{x}{s} = \frac{d_1\, d_2}{b_1(b_2 + d_2)} \cdot \frac{a_1}{s}$$

Methode von Kilgour. Diese Methode wird dann verwendet, wenn der Fehler einen hohen Widerstand bis zu 1000 Ohm besitzt. Bei dieser Methode wird der Stromkreis nicht geerdet. Die bei Anwendung dieser Methode zu treffende Schaltung zeigt die Figur 414. Die Länge des zu untersuchenden Kabels betrage L. Der Widerstand des Fehlers sei F das gesammte Kabel, dessen Leitungen an einem Ende mittels eines regulierbaren Widerstandes W verbunden werden, wird in eine Brücke als ein Zweig eingeschaltet. Bei der ersten Messung wird der Widerstand W ausgeschaltet, so dass die beiden Enden frei sind. Man misst dann mit Hilfe der Brücke den Widerstand des Kabels bis zum Fehler und den Fehlerwiderstand. Nehmen wir an, wir erhalten als Widerstand die Größe A. Nun verbindet man die freien Enden des Kabels durch einen passenden Widerstand W. Bei der jetzt vorzunehmenden Widerstandsmessung misst man den Widerstand des Kabels bis zum Fehlerort plus den parallel geschalteten Widerständen F und Kabelwiderstand von

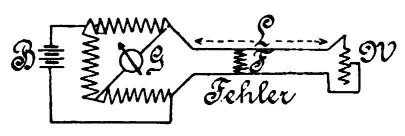


Fig. 414. Fehlerbestimmung.

F bis W und Widerstand $W = D$. Bezeichnen wir mit x den Widerstand eines Leiters des Kabels vom Ende beim Anschlusse an die Brücke bis zum Fehlerpunkte und mit C den Widerstand der gesammten beiden Leiter zu einer Schleife vereinigt, dann erhalten wir:

$$A = F + 2x \quad \text{und}$$

$$D = 2x + \frac{F(C - 2x + W)}{F + C - 2x + W}.$$

Aus der Gleichung für A folgt:

$$F = A - 2x.$$

Setzen wir diesen Wert in die Gleichung für D ein, dann erhalten wir eine quadratische Gleichung in Bezug auf x. Sie lautet:

$$x^2 - Dx + \frac{1}{4}[(D - A)(C + W) - AD] = 0.$$

Diese Gleichung gibt:

$$2x = D - \sqrt{(D - A)(C + W - D)}.$$

Bezeichnen wir mit m den Abstand des Fehlers vom Anfangspunkt des Kabels, dann können wir folgende Gleichung schreiben:

$$\frac{2x}{C} = \frac{m}{L}.$$

Aus dieser Gleichung folgt:

$$m = 2x \frac{L}{C}$$

Setzen wir in diese Gleichung den vorhin bestimmten Wert von $2x$ ein, dann erhalten wir:

$$m = \frac{D - \sqrt{(D-A)(C+W-D)}}{C} L.$$

Gerissene Leiter. Ein derartiger Fehler kann natürlich nur bei Kabeln von geringem Querschnitt vorkommen, etwa bei den Prüfdrähten, die den Leitungskabeln beigegeben sind. In der Figur 415 bedeute AC ein Kabel von der Länge L. Dieses Kabel sei an einer Stelle gerissen, so dass die beiden Theile, in welche das Kabel zerfällt, die Längen besitzen x und y. Wenn die Isolation der Theile noch eine so gute ist, dass man an ihnen Ladungsmessungen vornehmen kann, dann verfährt man folgendermaßen. Der eine Pol einer Batterie wird geerdet, der andere Pol der Batterie einmal an den Punkt A, das anderemal an den Punkt C des Kabels angelegt. In dem zu den Kabelendpunkten führenden Drahte ist auch ein ballistisches Galvanometer G eingeschaltet. Durch das Anlegen des einen Poles der Batterie an die Enden des Kabels werden die Kabeltheile x und y elektrisch geladen und das ballistische Galvanometer gibt einen Ladungsausschlag, der von der Kapacität des betreffenden Kabelstückes abhängt. Die Kapacität eines Kabels ist aber seiner Länge proportional. Nennen wir die Ausschläge, die wir am ballistischen Galvanometer erhalten, wenn wir den einen Batteriepol an die Punkte A und C anlegen, beziehungsweise a_1 und a_2, dann gilt die Gleichung:

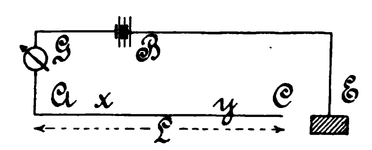


Fig. 415. Gerissene Leiter.

$$\frac{x}{y} = \frac{a_1}{a_2}.$$

Da auch die Beziehung gilt:

$$x + y = L, \text{ so}$$

können wir x und y leicht rechnen. Aus der zweiten Gleichung folgt:

$$x = L - y \text{ und } y = L - x.$$

Setzen wir den Wert für x in die erste Gleichung ein, dann erhalten wir:

$$\frac{L-y}{y} = \frac{a_1}{a_2}, \text{ woraus folgt:}$$

$$a_2 L - a_2 y = a_1 y \text{ und}$$

$$a_2 L = (a_1 + a_2) y \text{ daher}$$

$$y = \frac{a_2}{a_1 + a_2} L.$$

Auf ähnliche Weise folgt, wenn wir den oben gerechneten Wert für y in dieselbe Gleichung einsetzen:

$$x = \frac{a_1}{a_1 + a_2} L.$$

Statt des Ladungsausschlages kann natürlich auch der Entladungsausschlag zur Messung benützt werden. Besitzen die Drahtzuleitungen zu den Kabelendpunkten eine wesentliche Kapacität, dann ist der Ladungsausschlag für dieselben von den Werten a_1 und a_2 abzuziehen.

Ausbrennen des Fehlers. Dieses Verfahren muss sehr häufig in Wechselstromhochspannungsnetzen angewendet werden. Bei den Kabeln solcher Netze können Fehler vorkommen, die einen so hohen Widerstand besitzen, dass es nicht gelingt, den Ort des Fehlers zu bestimmen, weil man durch den hohen Widerstand des Fehlers keinen Messtrom schicken kann. Ein Zuwarten bis zu dem Zeitpunkte, wo der Fehlerwiderstand größer ist, erscheint unzulässig, weil es dann leicht geschehen kann, dass ein Durchschlagen des Kabels während des Betriebes erfolgt. Man verfährt in diesem Falle so, dass man zu einer Zeit, wo der Betrieb es zulässt, den Fehler einfach ausbrennt und dann den Ort des Fehlers mit Hilfe einer passenden Methode bestimmt. Denken wir uns, wir hätten ein konzentrisches Kabel mit einem Bleimantel armiert. Wenn der Bleimantel an einer Stelle verletzt wird, dann kann an dieser Stelle in das Kabel Feuchtigkeit eindringen, welche leicht einen Kurzschluss zwischen dem Bleimantel und dem äußern Leiter herbeiführen kann. In einem solchen Falle ist es nothwendig, den Fehler bald zu entfernen, weil sonst die Möglichkeit vorliegt, dass auch die Isolation zwischen dem äußeren und dem inneren Leiter leidet, so dass auch zwischen den beiden Leitern ein Schluss eintritt und wir dadurch verhindert sind zur Aufsuchung des Fehlerortes die Schleifenmethode mit Benützung des zweiten Leiters als Rückleitung zu verwenden. Zum Zwecke des Ausbrennens eines Fehlers geht man folgendermaßen vor. Die Hochspannungswickelung eines Transformators A, Figur 416 wird an die Klemmen einer Wechselstrommaschine angelegt. An die Klemmen der Sekundärwickelung dieses Transformators werden die Niederspannungswickelungen zweier oder auch dreier Transformatoren angelegt. Die Hochspannungswickelungen dieser Transformatoren werden in Serie geschaltet und mit einem Ende an das Kabel, mit dem andern Ende an den Bleimantel gelegt. Bei der in der Figur dargestellten Anordnung ist offenbar die Spannung zwischen Bleimantel und Kabel doppelt so groß, als die Spannung an den Klemmen der Maschine. Bei der Verwendung dreier Transformatoren an Stelle der Transforma-

toren *B* und *C* hätten wir zwischen Bleimantel und Kabel eine dreimal so große Spannung, als an den Maschinenklemmen. Man steigert die Spannung der zur Verfügung stehenden Wechselstrommaschine solange, bis die Bleisicherungen *b* schmelzen. In unserem Falle sind Sicherungen *b* für die halbe Schmelzstromstärke der Sicherungen *a* zu wählen, weil ja durch die Hochspannungswickelung des Transformators *A* ein doppelt so starker Strom fließt, wie durch die Hochspannungswickelungen der Transformatoren *B* und *C*. Das Verfahren wird mehreremale wiederholt, damit ein sicheres Ausbrennen des Fehlers erfolgt. Das Kabel wird jetzt abgeschaltet und mit einem Galvanoskop geprüft, ob ein vollständiger Erdschluss vorhanden ist. Statt einer Wechselstrommaschine kann man auch zur Stromlieferung die Hochspannungsvertheilungsleitung benützen, nur muss man in diesem Falle um die Versuchsspannung allmählich steigern zu können, in die Leitung von der Niederspannungswickelung des Transformators *A* bis zu den Niederspannungswickelungen der Transformatoren *B* und *C* einen Regulierwiderstand einschalten.

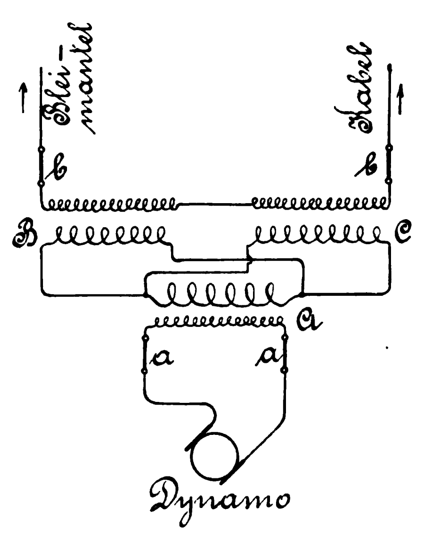


Fig. 416. Ausbrennen des Fehlers.

Allgemeine Bemerkungen über Fehlerbestimmungen. Damit ein Fehler mit Hilfe einer der im Vorigen dargestellten Methode bestimmt werden kann, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein.

1. muss die bei der Messung verwendete Batterie so stark sein, dass ein genügend starker Strom von ihr durch den Widerstand des Fehlers geschickt werden kann und

2. muss der Widerstand des Fehlers im Vergleiche zum übrigen Isolatonswiderstande des Kabels klein sein.

Kommen in einem der Untersuchung unterzogenen Kabel zwei Fehler vor, dann ergibt die Messung einen scheinbaren Fehlerort, der zwischen den wirklichen Fehlerorten und näher dem kleineren Widerstande liegt.

132. Fehlerbestimmungen während des Betriebes.

Induktionsmethoden. Diese Methoden beruhen auf den Induktionswirkungen, die ein Strom wechselnder Intensität auf einen

geschlossenen Leiter ausübt. Denken wir uns ein Kabel *C*, Fig. 417, das von Strom durchflossen wird. Bringt man eine dreieckige Spule, wie sie die Figur zeigt, derart in die Nähe des Kabels, dass die eine Seite der Spule zum Kabel parallel liegt, dann werden in der Spule Ströme induciert, wenn die Intensität des Stromes im Kabel *C* sich ändert. In die Spule wird auch ein Galvanometer oder ein Telephon geschaltet. Fließt nun in dem Kabel *C* ein Gleichstrom und wird derselbe mehrmals hintereinander unterbrochen und geschlossen, dann kann man in dem Telephon ein knackendes Geräusch vernehmen. Fließt durch das Kabel ein Wechselstrom, dann macht sich im Telephon ein summendes Geräusch bemerkbar. Wir wollen nun an einigen Beispielen zeigen, wie man mit Hilfe einer solchen Fehlersuchspule eine Fehlerbestimmung vornimmt. Figur 417 zeigt die Schaltung in der Centrale eines Niederspannungsnetzes, das aus mehreren von einander unabhängigen Abschnitten besteht,

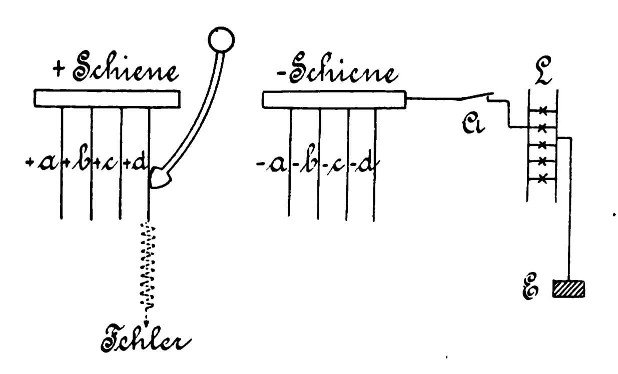


Fig. 417. Fehlerbestimmung während des Betriebes.

die von denselben Sammelschienen aus gespeist werden. $+a, +b, +c, +d$ und $-a, -b, -c, -d$ seien die Speiseleitungen. Denken wir uns, durch die regelmäßigen Isolationsmessungen in der Centrale wäre ein Fehler in der positiven Netzhälfte konstatiert worden. Es würde sich nun darum handeln, mit Hilfe der Fehlersuchspule zu finden, in welcher positiven Speiseleitung sammt zugehöriger Vertheilungsleitung der Fehler sich befindet. Zu diesem Zwecke wird die negative Speiseleitung unter Zwischenschaltung einer Lampenbatterie *L* und eines Ausschalters *A* geerdet. Die Spule *D* wird nun zunächst der Leitung *a* genähert, und die negative Sammelschiene an Erde gelegt. Hat das Kabel *a* Schluss mit der Erde, dann muss durch dasselbe in diesem Augenblicke ein stärkerer Strom fließen, und das Galvanoskop gibt einen Ausschlag oder das Telephon ein knackendes Geräusch. Bei Verwendung eines Telephons wird man den Schalter *A* mehreremale öffnen und schließen.

Die Lampenbatterie dient dazu, zu verhindern, dass in dem Falle, als der Fehler ein beträchtlicher wäre, die Stromstärke im Leiter $+a$ demzufolge zu stark anwachse. Lässt sich im Leiter $+a$ der Fehler nicht konstatieren, geht man an die Untersuchung der anderen Leiter, bis man den fehlerhaften herausfindet. Ist das Leitungsnetz im Gegensatze zu unserer Annahme ein zusammenhängendes, dann wird der stärkste Ton im Telephon zu hören sein beim Anlegen der Spule an jene Speiseleitung, welche dem Fehler zunächst liegt. Der Fehler befindet sich dann in jenem Abschnitte der Vertheilungsleitung, welcher zwischen denjenigen Speiseleitungen liegt, bei denen das Telephon die stärksten Töne gibt. Um nun den Ort des Fehlers zu bestimmen, verfährt man folgendermaßen. Der gesunde Leiter wird unter Zwischenschaltung einer Lampenbatterie und eines Unterbrechers, Fig. 418, geerdet. Hierauf wird die Trace des fehlerhaften Kabels mit der Spule verfolgt. Wird der Unterbrecher bethätigt, dann hört man im Telephon das Geräusch,

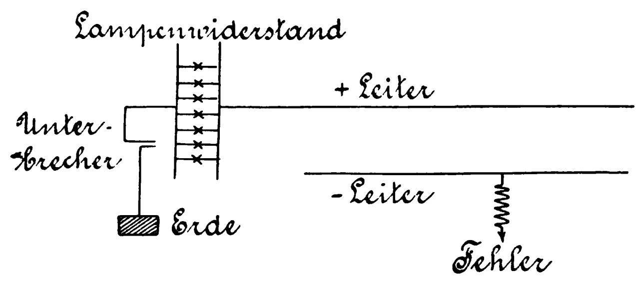


Fig. 418. Fehlerbestimmung während des Betriebes.

bis man mit der Spule zum Punkte des Fehlers gelangt ist. In dem Kabeltheile hinter dem Fehlerorte ist kein Ton mehr zu vernehmen, weil ja dieser Theil des Kabels stromlos ist. Diese Art der Untersuchung liefert nur dann brauchbare Resultate, wenn das Kabel isoliert verlegt ist. Ist das Kabel jedoch mit einem Bleimantel umgeben, armiert oder in eiserne Röhren eingezogen, dann wird der Ton an der Fehlerstelle nicht aufhören, sondern nur schwächer werden, weil der Strom im Bleimantel weiterfließt. Wenn der an der Fehlerstelle entweichende Strom zu beiden Seiten dieser Stelle im Bleimantel verläuft, kann man den Ort des Fehlers auch nicht annähernd bestimmen, da in diesem Falle das Telephon entweder gar keinen, oder nur einen schwachen Ton gibt. Ganz genau so, wie in Gleichstromnetzen, lässt sich diese Methode auch in Wechselstromnetzen anwenden, nur erspart man bei diesen die Anwendung eines Unterbrechers. Als Unterbrecher verwendet man eine elektrische Klingel mit abgebogenem Klöppel, oder ein In-

duktorium. Auch der neuestens erfundene Unterbrecher von Wehnelt, oder der von Simon wird vielleicht gute Dienste leisten. Wir wollen an diese Stelle einige Bemerkungen über diese neuesten Unterbrecher einfügen. Der Wehnelt'sche Unterbrecher besteht aus einer großen, cylindrisch gekrümmten Bleielektrode und einer dünnen Platinelektrode, welche der Bleielektrode genähert wird. Beide Elektroden tauchen in verdünnte Schwefelsäure. Die Stromdichte an der Platinelektrode ist eine sehr große. Infolge dessen findet an derselben eine Erwärmung der Flüssigkeit statt, diese verdampft, und der Strom wird unterbrochen. Dadurch kühlt sich die Flüssigkeit ab, und der Strom fließt von neuem. Dieses Spiel wiederholt sich in ununterbrochener Folge. Der Unterbrecher von Simon hat folgende Einrichtung: Ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Gefäß wird durch eine isolierende Zwischenwand in 2 Abtheilungen getheilt. In jeder Abtheilung befindet sich eine Bleiplatte, die als Elektrode dient. Die isolierende Zwischenwand besitzt in ihrer Mitte ein 1—2 *mm* großes Loch. Die Unterbrechungen des Stromes finden an dieser Stelle statt. Die Erklärung des Vorganges ist dieselbe wie beim Wehnelt-Unterbrecher.

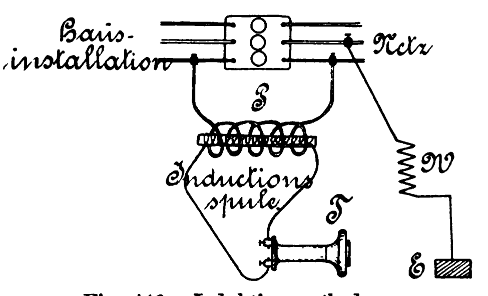


Fig. 419. Induktionsmethode.

Die bei Untersuchungen nothwendigen Stromstärken richten sich nach der Beschaffenheit des Netzes und werden auch bedingt von der Windungszahl der Spule und der Entfernung der Spule vom Kabel.

Die Spule bekommt gewöhnlich die Gestalt eines Dreieckes von ungefähr 1 *m* Seitenlänge und 100—200 Windungen Draht von 0·4 *mm* Draht.

Wichtig ist die Induktionsmethode bei der Prüfung von Hausinstallationen. Figur 419 zeigt die Anwendung dieser Methode in dem angegebenen Falle. Wir sehen in der Figur die Leitungen eines Dreileiternetzes, die vom Netze über 3 Bleisicherungen in ein Haus abzweigen. Zur Untersuchung kann man in diesem Falle, da die Leitungen nur von verhältnismäßig geringen Strömen durchflossen werden, einen Transformator oder einen Induktionsapparat benützen. Bei derjenigen Leitung, bei welcher die Untersuchung vorgenommen werden soll, wird die Bleisicherung entfernt. Die dickdrahtige Spule des Induktionsapparates wird an diese Leitung parallel zur Sicherung

angeschlossen, so dass sie von dem Strome in der Leitung durchflossen wird. Die dünndrahtige Spule wird durch ein Telephon geschlossen. Hierauf wird eine gesunde Leitung über einen Widerstand *W* und einen Unterbrecher an Erde gelegt. In dem Momente des Anlegens an Erde durchfließt die fehlerhafte Leitung ein stärkerer Strom und das Telephon lässt beim Bethätigen des Unterbrechers einen Ton vernehmen. Diese Messung kann man an jeder Abzweigung vornehmen, so dass man dadurch den Ort des Fehlers leicht finden kann. Statt eines Induktionsapparates kann man auch ein Galvanoskop oder eine Glühlampe verwenden, nur darf man in diesem Falle den Widerstand *W* nicht groß wählen und muss sämmtliche Lampen und Verbrauchsapparate von der Hausinstallation abschalten.

Nachdem man mit Hilfe der Induktionsmethode auch die Speiseleitung gefunden hat, welche dem Orte des Fehlers zunächst liegt, muss

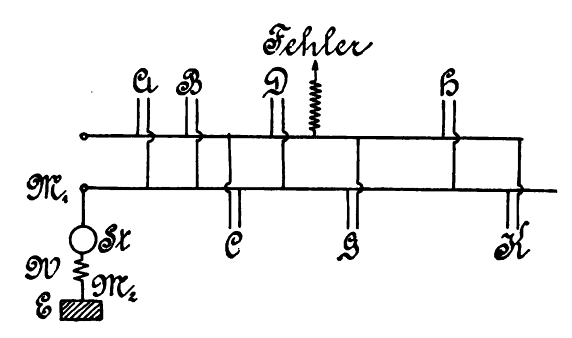


Fig. 420. Fehler in der Vertheilungsleitung.

man nun suchen, ob der Fehler in der Speiseleitung oder in der Vertheilungsleitung liegt. Zu diesem Zwecke wird nun zunächst der betreffende Speiseleiter vom Speisepunkte abgetrennt. Nun prüft man, ob der Fehler in der Speiseleitung selbst liegt. Ist das der Fall, dann wird auch der Speiseleiter des anderen Poles vom Speisepunkte abgetrennt. Beide Kabel werden nun zu einer Schleife vereinigt, und mit Hilfe der Methode von Murray der Ort des Fehlers bestimmt. Befindet sich der Fehler in der Vertheilungsleitung, dann kann man zur Auffindung des Fehlerortes die Methode von Latch verwenden. Die Anwendung dieser Methode zeigt die Figur 420. Von der Vertheilungsleitung werden alle Speiseleitungen abgetrennt bis auf 2, eine positive und eine negative Speiseleitung. Die in unserer Figur gezeichnete Vertheilungsleitung würde nur von den Stellen Strom bekommen, die mit kräftigen Punkten bezeichnet sind. *A*, *B*, *C* u. s. f. bedeuten Ab-

zweigleitungen. Der Punkt M_1 der gesunden Leitung wird über einen Stromzeiger *St* und einen Widerstand *W* an Erde gelegt. Misst man nun die Spannungsdifferenzen zwischen den Leitungen *A*, *B*, *C* u. s. f., dann wird man folgende Wahrnehmung machen. Die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Leitungen einer Abzweigleitung ist umso größer, je näher die Abzweigleitung dem Punkte M_1 liegt. Die Spannungsdifferenz zwischen den Leitungen *D* ist um den Betrag des Spannungsverlustes in den Vertheilungsleitungen von den Anschlusspunkten der Leitungen *A* bis zu den Anschlusspunkten der Leitungen *D* kleiner als die Spannungsdifferenz zwischen den Leitungen *A*. Die Spannungsdifferenzen zwischen den Leitungen *G*, *H* und *K*, welche nach dem Fehlerorte liegen, sind jedoch alle untereinander fast gleich, denn die fehlerhafte Leitung führt beinahe keinen Strom mehr nach dem Fehlerorte, hat also nahezu das Potential 0, während die Punkte *G*, *H* und *K* am gesunden Kabel von einander nur wenig verschiedene Potentiale besitzen. Der Widerstand *W* wird so eingestellt, dass der durch denselben fließende Strom im Vergleiche zum Nutzstrome in der Leitung groß ist. Mit Hilfe dieser Methode kann man also bloß bestimmen, zwischen welchen Paaren von Speiseleitungen sich der Fehler befindet.

S c h l e i f e n m e t h o d e n. Die früher beschriebene Schleifenmethode von F r ö l i c h kann auch während des Betriebes angewendet werden. Die Messungen werden zu einer Zeit ausgeführt, wenn die geringste Belastung herrscht. Behufs Vornahme der Messungen werden sämmtliche Speiseleitungen bis auf ein Paar, das die Speisung des Netzes jetzt allein übernimmt, von den Sammelschienen abgenommen. Nun wird immer zwischen 2 benachbarten Speiseleitungen eine Schleife hergestellt, bis der Fehler gefunden ist. Sollte der Fehler in der Vertheilungsleitung sein, dann wird die ebenfalls besprochene Messschaltung angewendet. Eine Schwierigkeit dieser Methode liegt in dem Umstande, dass das Galvanometer auf den falschen Nullpunkt eingestellt werden muss; eine andere darin, dass der Netzstrom veränderlich ist, was natürlich die Einstellung am Galvanometer sehr erschwert.

M e t h o d e v o n H i e k e. Die Fröhlich'sche Methode ist eine Abänderung der Methode von Hieke. Bei der Hieke'schen Methode wird der Netzstrom durch einen Batteriestrom kompensiert. Figur 421 zeigt das Schaltungsschema. H_3 und H_4 sind zwei Speiseleitungen, P_3 und P_4 die dazugehörigen Prüfdrähte. *C* ist ein Schleifkontakt, durch welchen der Schleifdraht in die Theile *a* und *b* zerfällt. Die Batterie B_2 dient dazu, die Wirkung des Netzstromes auf das Galvanometer aufzuheben. Zu diesem Behufe wird die Batterie mittels eines Widerstandsdrahtes, der zugleich als Schleifdraht dient und einen ziemlich hohen Widerstand

besitzt, kurz geschlossen. E ist ein geerdeter Schleifkontakt. Ein Pol der Batterie wird an das Galvanometer angelegt. Der Ausschlag des Galvanometers infolge der Wirkung des Netzstromes wird durch Kompensieren dieses Stromes mit Hilfe der Batterie B_2 vorgenommen. Dieses Kompensieren geschieht durch Verschieben des Kontaktes E. Nachdem dies geschehen ist, wird der Stromkreis der Batterie B_1 geschlossen und die Nadel durch Verschieben des Schleifkontaktes C eingestellt. Gelingt die Einstellung bei dieser Schaltung nicht, muss man jedoch, um die Nadel der Gleichgewichtslage zu nähern mit dem Schleifkontakte an das rechte oder linke Ende des Schleifdrahtes gehen, dann macht man dieselbe Messung bei gleicher Schaltung zwischen den rechts oder links benachbarten Speiseleitungen. Musste man z. B. zum rechts benachbarten Speiseleitungspaar übergehen, wobei bei der ersten Messung der Schleifkontakt C ganz nach rechts ausgeschoben war, und muss man bei der

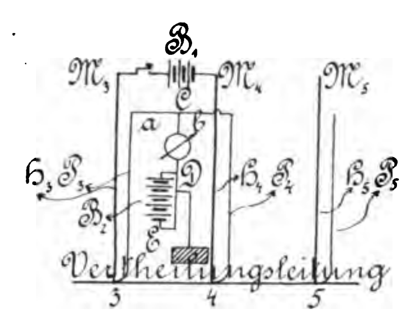


Fig. 421. **Schleifenmethode.**

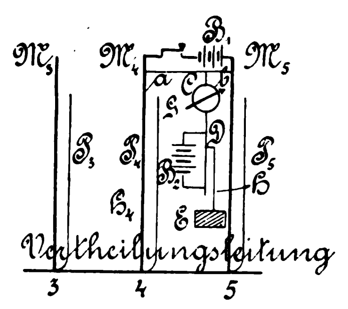


Fig. 422. **Fehlerbestimmung.**

zweiten Messung den Schleifkontakt ganz nach links ausschieben, dann macht man die in Figur 422 dargestellte Schaltung, da sich der Fehler dann im Kabel H_4 oder im Punkte 4 befindet. Bei dieser Schaltung ist das Kabel H_4 in die Schleife einbezogen. Die Berechnung des Fehlerortes erfolgt so, wie wir es schon bei der Methode von Frölich gezeigt haben. Bei der Schaltung Figur 421 beträgt der Abstand des Fehlerpunktes vom Speisepunkte 3

$$x = \frac{a}{a+b} l,$$

in welcher Formel l die äquivalente Länge der Vertheilungsleitung zwischen den Punkten 3 und 4 bedeutet.

Bei der Schaltung Figur 422 beträgt der Abstand des Fehlerortes vom Punkte M_4

$$x = \frac{a}{a+b} l,$$

in welcher Formel l die äquivalente Länge der Schleife bedeutet entweder auf den Querschnitt der Speisekabel, oder auf den der Vertheilungsleitung bezogen.

Diese Schleifenmethoden sind auch in Wechselstromnetzen anwendbar. Der Gleichstrom, der von der Batterie geliefert wird, lagert sich über den Wechselstrom des Netzes. Das Galvanometer wird von dem Wechselstrome nicht beeinflusst. Nur ist darauf zu achten, dass die Galvanometerwindungen nicht dadurch Schaden nehmen, dass vielleicht ihre Strombelastung zu groß wird, nachdem zwei Ströme durch dieselben fließen, von welchen Strömen der eine auf die Nadel gar keine Wirkung ausübt.

Methode von Pigg. Diese Methode ist eine Schleifmethode, welche dazu dient, den Fehlerort in solchen Netzen zu bestimmen, die so klein sind, dass sie bloß von einem Paar Speisekabeln gespeist werden. Die Figur 423 zeigt die Anwendung dieser Methode. A und B sind die Anschlusspunkte der Speisekabel in der Centrale. Als Schleife dient bei dieser Methode das positive Kabel, die Lampenwiderstände und das negative Kabel. Der Schleifdraht, dessen Theile wir a und b nennen, wird zwischen die Punkte A und B geschaltet. Der Schleifkontakt wird über ein Galvanometer an Erde gelegt. Der Abstand des Fehlerortes vom Punkte A sei x, vom Punkte B sei er y. Wird nun die Brücke mit Hilfe des Schleifkontaktes eingestellt, dann gilt folgende Gleichung:

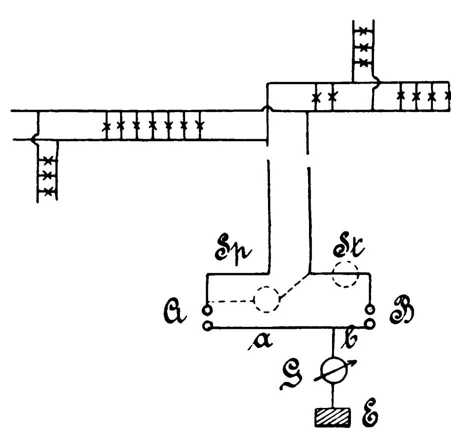


Fig. 423. Schleifenmethode.

$$x = \frac{a}{a+b}\,(x+y).$$

$x+y$ ist der Widerstand der ganzen Schleife. Dieser Widerstand lässt sich leicht mit Hilfe der in der Figur angedeuteten Instrumente in der Centrale, einem Stromzeiger und einem Spannungszeiger, bestimmen. Ist die Ablesung am Spannungszeiger V, am Stromzeiger A, dann ist

$$x+y=\frac{V}{A}.$$

Aus den letzten beiden Gleichungen lassen sich die Werte von x und y berechnen. Wir erhalten:

$$x = \frac{V}{A} \, \frac{a}{a+b} \quad \text{und}$$

$$y = \frac{V}{A} \, \frac{b}{a+b}.$$

Kennt man den Widerstand der Schleife für einen Meter, dann kann man mit Hilfe dieser Gleichungen leicht den Fehlerort bestimmen. Es ist aber zu bedenken, dass die Stromstärke im Netz während der Messung gewöhnlich schwanken wird, so dass eine genaue Einstellung des Schleifkontaktes nicht möglich ist. Schließlich sind auch die Ablesungen an den Instrumenten des Schaltbrettes fehlerhaft, so dass man mit Hilfe dieser Methode kaum mehr bestimmen kann, als ob der Fehler in der Speiseleitung oder in der Vertheilungsleitung liegt.

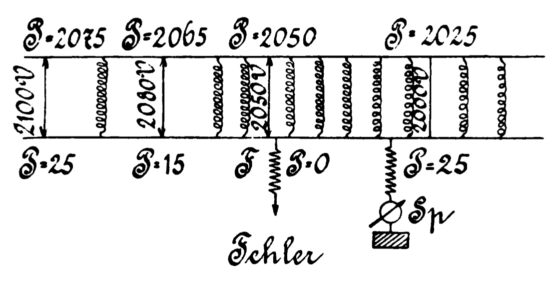


Fig. 424. Fehler in einer Hochspannungsleitung.

Die Schleifenmethoden sind auch in Hochspannungsnetzen anwendbar, doch wird in diesen Fällen in der Centrale ein eigenes Schaltbrett für die Fehlerbestimmung angeordnet; dabei werden alle gebotenen Vorsichtsmaßregeln getroffen.

Eine sehr einfache Methode zur Bestimmung des Fehlerortes in einem Hochspannungsnetze ist die folgende. In der Figur 424 ist ein Hochspannungsnetz gegeben, an das die Primärwickelungen von Transformatoren angeschlossen sind. Denken wir uns, in dem Punkte F der einen Leitung trete ein Erdschluss von geringem Widerstande auf. Das Potential dieses Punktes gegen Erde wird dann 0 sein. Legen wir zwischen verschiedenen Punkten der Leitung und Erde einen Spannungszeiger von hohem Widerstande, dann werden wir finden, dass die Pontentialwerte dieser Punkte gegen Erde, welche der Spannungszeiger anzeigt, umso kleiner sind, je näher der gewählte Punkt dem Punkte F' liegt.

Überdies haben die Pontentialwerte P der Punkte vor dem Fehlerpunkte das entgegengesetzte Vorzeichen von den Potentialwerten der Punkte hinter dem Punkte F.

Bogenlampen-Serienstromkreise. In leichter Weise lässt sich bei solchen Stromkreisen ein Fehler in der Leitung ermitteln. Denken wir ein solches Beleuchtungsystem, Fig. 425, bei welchem n Lampen $G_1 \ldots\ldots G_n$ verwendet werden. Beträgt die Spannung zwischen dem positiven und dem negativen Pole in der Centrale V Volt, dann entfällt auf jede Lampe eine Spannung $\frac{V}{n}$ Volt. Dabei beträgt die Spannung des positiven Poles gegen Erde $+\frac{V}{2}$ und die des negativen Poles $-\frac{V}{2}$. Nehmen wir nun an, hinter der p. Lampe trete ein Schluss der Leitung mit der Erde ein. In diesem Falle wird das Potential des positiven Poles gegen Erde nicht mehr $+\frac{V}{2}$ betragen, sondern

$$p \cdot \frac{V}{n} = V'.$$

Das Potential des negativen Poles gegen Erde wird dann sein

$$V'' = V - V' = V - p \cdot \frac{V}{n}.$$

Fig. 425. Fehlerbestimmung. Bogenlampenstromkreis.

Man kann also leicht den Ort des Fehlers ermitteln, wenn man das Potential des positiven oder des negativen Poles gegen Erde misst. Die erstere Messung ergibt:

$$V' = p \cdot \frac{V}{n}; \text{ daraus folgt:}$$

$$v = n \cdot \frac{V'}{V}.$$

Die Größe p gibt uns ja an, hinter welcher Lampe der Fehler zu suchen ist. Die zweite Messung gibt:

$$V'' = V - p \cdot \frac{V}{n}; \text{ aus dieser Gleichung folgt:}$$

$$p \cdot \frac{V}{n} = V - V'' \text{ und}$$

$$p = n \frac{V - V''}{V} = n \left(1 - \frac{V''}{V}\right).$$

Wir finden demnach auch durch diese Messung die Zahl p, wobei zu beachten ist, dass die Größe p immer vom positiven Pole aus zu zählen ist.

Auch eine Abänderung der Schleifenmethode kann in solchen Netzen zur Aufsuchung eines Fehlers dienen. Zu diesem Zwecke wird eine Schaltung gemacht, wie sie die Figur 426 zeigt. In der Centrale werden zwischen dem positiven und dem negativen Pole so viele Glühlampen gleichen Widerstandes hintereinander geschaltet, als im Netze sich hintereinander geschaltete Bogenlampen befinden. Die Reihe der Glühlampen vertritt den Schleifdraht. Nun wird ein Galvanometer G, das mit dem einen Pol geerdet ist, mit dem anderen Pole der Reihe nach an verschiedene Punkte des Glühlampenkreises gelegt. Der Punkt, an welchem das Galvanometer den kleinsten Ausschlag gibt, entspricht dem Fehlerorte im Bogenlampenkreise. Liegt der bezeichnete Punkt im Glühlampenkreise. z. B. zwischen den Lampen B_2 und B_3, dann ist der Fehler im Bogenlampenkreise zwischen den Lampen G_2 und G_3 zu suchen.

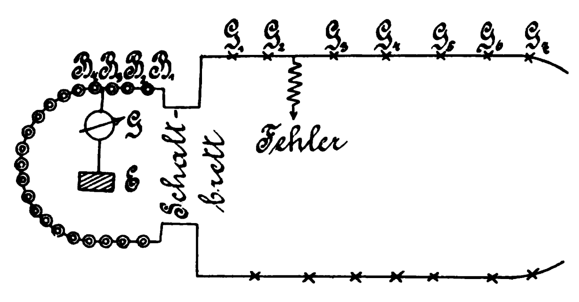


Fig. 426. Fehlerbestimmung.

133. Selbstthätige Fehlermeldeapparate.

Agthe'sche Methode. Sowohl diese Methode als auch die Methode von Kallmann, die später zu beschreiben sein wird, bedient sich zum Zwecke der selbstthätigen Fehlermeldung der Prüfdrähte, die jedem Kabel beigegeben sind. Das Princip dieser Methode zeigt die Figur 427. I bedeutet die negative, II die positive Sammelschiene. $-A$ und $-B$ sind 2 negative, $+A$ und $+B$ zwei positive Speisekabel. Die den beiden positiven Speisekabeln beigegebenen positiven Prüfdrähte $+a$ und $+b$ sind unter Zwischenschaltung der Signalapparate I_2 und I_4 an die positive Sammelschiene angeschlossen, während die negativen Prüfdrähte $-a$ und $-b$ unter Zwischenschaltung der Signalapparate I_1 und I_3 mit der negativen Sammelschiene verbunden werden. Der Signalapparat, der im wesentlichen ein Relais ist, wird

später beschrieben werden. Denken wir uns im positiven Speisekabel $+A$ trete an der mit einem Pfeil bezeichneten Stelle ein Erdschluss auf, dann wird der entstehende Lichtbogen oder der Erdschlusstrom sehr bald die Isolation des Prüfdrahtes an dieser Stelle verletzen und der Prüfdraht tritt mit dem Kabel in leitende Verbindung. In diesem Augenblicke fließt ein Strom von der positiven Sammelschiene über den Prüfdraht $-a$ und dem Signalapparat I_1 zur negativen Schiene. Das Relais I_1 bringt eine Klappe zum Fallen, die zur Ankündigung des Fehlers dient. Nachdem die Prüfdrähte auch zur Messung der Spannung an den Speisepunkten benützt werden müssen, wird die Schaltung nicht in der eben beschriebenen Art gemacht, sondern so wie es in der Fig. 428 dargestellt ist. Die Prüfdrähte sind mit dem Kabel der entgegengesetzten Polarität nicht in der Centrale, sondern an den Speisepunkten verbunden. In die Prüfdrähte sind Schmelzsicherungen d eingeschaltet. In der Centrale werden die Prüfdrähte an die Relais-Apparate angeschlossen, welche Apparate ihrerseits mit den Prüfdrahtsammelschienen $+L_1$ und $-L_1$, Fig. 429, verbunden sind. Und zwar sind alle Relais, welche mit den Prüfdrähten verbunden sind, die an die negativen Kabeln angeschlossen werden, mit der Schiene $-L_1$ in Verbindung,

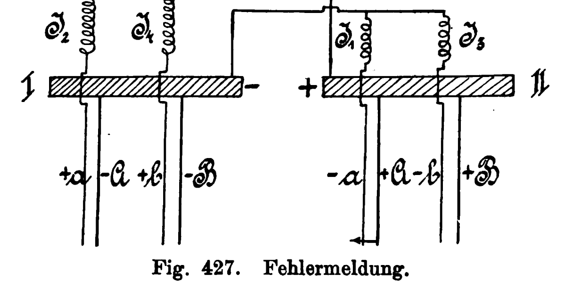


Fig. 427. Fehlermeldung.

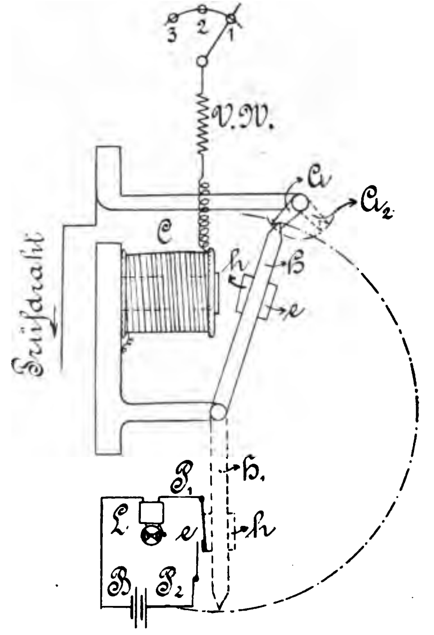


Fig. 428. Fehlermeldung.

während die Relais, die mit den Prüfdrähten $+a$ in Verbindung stehen, an der Sammelschiene $+L_1$ liegen. Der Spannungszeiger V_1, der zwischen die Schienen $+L_1$ und $-L_1$ geschaltet ist, misst die mittlere Spannung sämmtlicher Speisepunkte. Nachdem die Relais große Widerstände besitzen und mit dem Spannungszeiger in Serie geschaltet

sind, müssen diese Widerstände bei der Aichung des Spannungszeigers in Rechnung gezogen werden. Der Umschalter S liegt für gewöhnlich am Kontaktpunkte 1. Denken wir uns nun, in der Leitung $+A$ trete ein Fehler auf. Nach Zerstörung der Isolation des Prüfdrahtes fließt dann ein starker Strom durch den Prüfdraht $-a$ und der Sicherung d zur negativen Polplatte des Speisepunktes. Dieser Strom bringt die Sicherung sofort zum Schmelzen und ist dadurch genöthigt, seinen Weg über $-a$ wieder zurückzunehmen. Der Strom fließt nun durch das Relais J_1 zur Sammelschiene $-L_1$ und von dieser über die Relais I_3, I_5 u. s. w. zu den negativen Polplatten und von hier über die negativen Speisekabeln zur negativen Sammelschiene. Dieser Strom fließt ungetheilt durch das Relais I_1, während die übrigen in Parallelschaltung durchflossen werden. Aus diesem Grunde wird auch nur dieses Relais erregt und tritt in Thätigkeit. Wir wollen uns nun zunächst näher mit den Einrichtungen eines solchen Relais befassen. Die Figur 429 zeigt ein solches Relais. Der Strom fließt durch den Prüfdraht, die Hebel L und H, die Wickelung C und den Vorschaltwiderstand. Da das Relais, wenn es erregt ist, an der vollen Netzspannung liegt, muss sein Widerstand ein großer sein, damit keine übermäßige Erwärmung der Solenoidwickelung eintritt. Einen Theil des nothwendigen Widerstandes fügt man als Vorschaltwiderstand bei, welcher selbstinduktionslos gewickelt ist. Auf diese Weise erreicht man einen doppelten Vortheil. Erstens wird die Wickelung C nicht zu voluminös und zweitens wird bei der Unterbrechung des Stromkreises, die durch den Apparat selbstthätig geschieht, der Unterbrechungsfunke kleiner. Wird das Solenoid C vom Strom durchflossen, dann zieht der Eisenkern desselben den Anker h an, dadurch bewegt sich der Hebel H gegen das Solenoid. Die Folge davon ist, dass der Hebel H mit dem Hebel L außer Eingriff kommt,

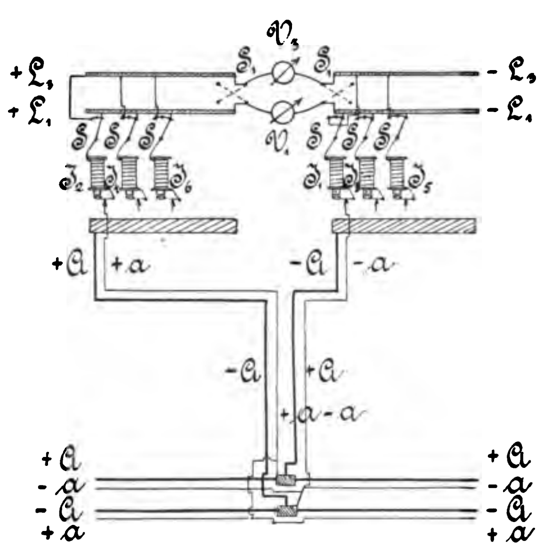


Fig. 429. Fehlermeldung.

und des Haltes beraubt, in die Lage H' zurückfällt. Der Strom ist jetzt unterbrochen. Diese Stromunterbrechung ist sehr vortheilhaft. Einerseits wird infolge dessen das Solenoid nicht zu lange von dem starken Strome durchflossen, und andererseits wird wieder eine richtige Angabe des Spannungszeigers V_1 hergestellt, denn solange die Stromverbindung durch das Solenoid besteht, zeigt der Spannungszeiger falsch. An dem Hebel H ist ein Hammer e aus Hartgummi befestigt. Wenn der Hebel H in die Lage H' kommt, dann drückt der Hammer e an einen Kontakt P_1 P_2 und schließt dadurch den Stromkreis einer Klingel. Sämmtliche Relais, respective ihre Hebel H schließen einen und denselben Klingelstromkreis. An jedem Hebel befindet sich jedoch eine numerierte Klappe, welche den Distrikt bezeichnet, zu welchem das bestimmte Relais gehört. Wenn ein Hebel fällt, dann bringt man ihn zunächst wieder in seine gewöhnliche Lage. Verbleibt er in derselben, dann war der Fehler bloß ein vorübergehender. Beginnt jedoch das Relais von neuem seine Thätigkeit, dann ist der Fehler ein dauernder. Der Umschalter S wird nun auf den Kontaktpunkt 2 gestellt und der Prüfdraht dadurch von der Prüfdrahtsammelschiene abgeschaltet. Nun kann man den Hebel H dauernd in seine Lage zurückbringen. Die Kontaktpunkte 3 werden dann verwendet, wenn man die Spannung nur eines Speisepunktes messen will. Diese Kontaktpunkte sind nämlich an die Schienen $+L_3$ und $-L_3$ angeschlossen. Will man nun die Spannung eines Speisepunktes messen, dann werden jene Umschalter S, welche mit den Prüfdrähten in Verbindung stehen, die zu dem betreffenden Speisepunkte führen, auf die Kontaktpunkte 3 gestellt. Der Spannungszeiger V_3 zeigt dann die gewünschte Spannung. Die Umschalter S_1, S_1 dienen dazu, die Spannungszeiger V_1 und V_3 mit einander vertauschen zu können. Dieses Fehlermeldesystem kann sowohl angewendet werden in einem Vertheilungsnetz, das aus von einander unabhängigen Theilen besteht, als auch in solchen Netzen, die in sich geschlossen sind. Das System wird auch in Dreileiternetzen verwendet. Ist der Mittelleiter des Netzes geerdet, dann erhält der Mittelleiter keinen Prüfdraht, während die Außenleiter je einen Prüfdraht erhalten. Ist der Mittelleiter nicht geerdet, dann wird der Prüfdraht des negativen Kabels im Speisepunkte an den Mittelleiter gelegt, der Prüfdraht im Mittelleiter an den positiven Leiter und der Prüfdraht des positiven Kabels an den negativen Leiter. In diesem Falle sind auch drei Relaisgruppen und drei Prüfdrahtsammelschienen vorhanden. Bei dieser Schaltung hat der positive Leiter gegen seinen Prüfdraht die doppelte Betriebsspannung.

Kallmann's Methode. Auch Kallmann verwendet zur Fehlermeldung isolierte Prüfdrähte. Ein Bild dieser Methode gibt die Figur 430.

An verschiedenen Punkten des Netzes werden isolierte Prüfdrähte gut geerdet. Zu diesem Zwecke werden dieselben gewöhnlich mit den Kabelkästen oder der Armatur verbunden. Jeder Prüfdraht führt in der Centrale über eine Kontaktplatte *P* zu einer Relaisklemme. Das andere Ende des Relais ist geerdet. Tritt nun an einer Stelle des Netzes ein Fehler auf, dann steigt das Potential des geerdeten Endes jenes Prüfdrahtes, welcher dem Fehlerorte zunächst liegt. Zwischen den geerdeten Enden des Prüfdrahtes besteht jetzt eine Spannungsdifferenz. Infolge dessen fließt durch den Prüfdraht ein Strom, welcher das in Betracht kommende Relais bethätigt. Häufig tritt der Fall ein, dass

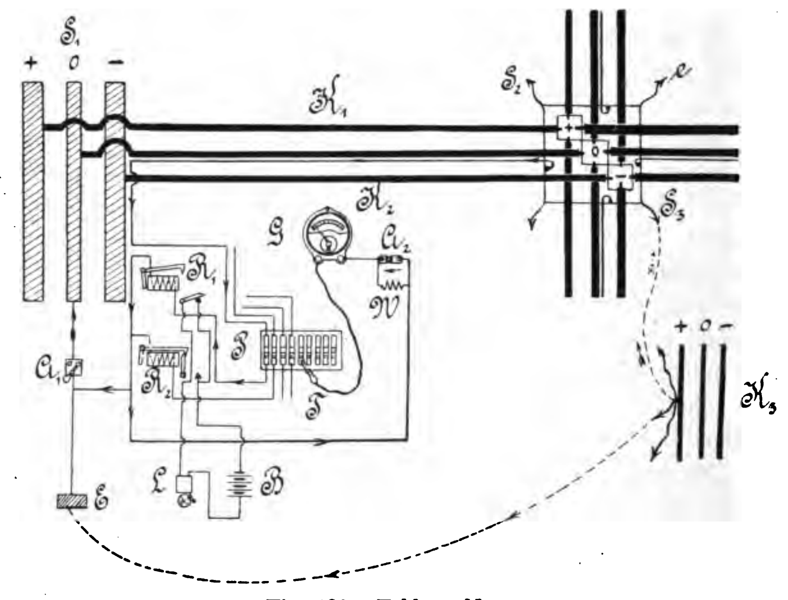


Fig. 430. Fehlermeldung.

mehrere Relaisklappen gleichzeitig fallen. In diesem Falle wird mit Hilfe des Galvanometers *G* geprüft, zwischen welcher Kontaktplatte *P* und Erde die größte Spannungsdifferenz besteht. Auf diese Weise findet man den Prüfdraht, dessen Ende dem Fehlerorte zunächst liegt. Die eine Klemme des Galvanometers ist geerdet, die andere Klemme ist mit einer biegsamen Leitungsschnur verbunden, die einen Kontaktstift *T* trägt, mit dem man rasch über die einzelnen Kontaktplatten *P* hinwegstreichen kann. Es ist klar, dass sich diese Methode dort nicht ohneweiters anwenden lässt, wo sich elektrische Bahnen mit Schienenrückleitung befinden, da die vagabundierenden Ströme auch Erhöhungen des Erdpotentiales bewirken.

XI. Kapitel.

Parallelschaltung von Wechselstrommaschinen[1]).

134. Allgemeines. Wechselstrommaschinen werden ebenso wie Gleichstrommaschinen (I. Th., 2. B., S. 185) parallel geschaltet. Zu diesem Zwecke eignen sich sowohl Maschinen mit geringer, als auch Maschinen mit großer Selbstinduktion. Während jedoch bei Gleichstrommaschinen nur die gleiche Spannung der parallel zu schaltenden Maschinen erforderlich ist, sind bei Wechselstrommaschinen im Augenblicke der Parallelschaltung drei Bedingungen zu erfüllen und zwar:

1. Gleiche Polwechsel (Synchronismus). Gleiche Maschinen müssen demnach gleiche Umlaufzahlen, beziehungsweise Winkelgeschwindigkeiten besitzen. Haben die Maschinen gleiche Polwechselzahlen, dann sagt man, sie befinden sich in Takt oder in Tritt.

2. Gleiche Klemmenspannung. Ist beim Einschalten die Gleichheit bei Spannungen nicht erreicht, so fließt ein hoher wattloser Ausgleichsstrom (Korrektionsstrom) zwischen den Maschinen.

3. Gleiche Phasen. Nur unter dieser Bedingung ist der Gesammtstrom gleich der Summe der Stromstärken der einzelnen Maschinen.

Bei Mehrphasenstrommaschinen wird noch eine weitere Bedingung erforderlich.

4. Das Drehfeld muss im gleichen Sinne umlaufen. Diese Bedingung ist nur bei der Inbetriebsetzung oder bei einem Vertauschen der Leitungen zwischen Maschinen und Schaltbrett zu berücksichtigen.

135. Antrieb der parallel zu schaltenden Wechselstrommaschinen. Parallel zu schaltende Wechselstrommaschinen und die mit ihnen unmittelbar gekuppelten Erregermaschinen müssen je von einer besonderen Dampfmaschine angetrieben werden. Von der Regulierfähigkeit der Dampfmaschinen hängt die Güte des Parallelbetriebes ab. Bei der Parallelschaltung von Gleichstrommaschinen kann die Belastung der einen Maschine und die Entlastung der anderen durch Erreger-

[1]) Siehe auch Gisbert Kapp, Elektrotechnische Zeitschrift 1899, H. 7.
G. Dettmar, Elektrotechnische Zeitschrift 1899, S. 729.
Gustav Benischke, Elektrotechnische Zeitschrift 1899, S. 870.

rheostate erfolgen, bei Parallelschaltung von Wechselstrommaschinen dagegen zum größten Theile durch die Änderung der Dampfzufuhr an der Dampfmaschine. Außerdem soll jede Dampfmaschine während ihres Ganges durch Drosselventil oder Verstellung des Regulators, reguliert werden können. Bei Schwungradregulatoren verstellt man das Laufgewicht, verändert die Federkraft u. s. w. Die Beeinflussung der Regulatoren erfolgt auch vom Schaltbrett aus (Pat. Nr. 72282, Siemens & Halske A.-G.) Sämmtliche Dampfmaschinen sind parallel an das Hauptdampfrohr angeschlossen, so dass der Dampf gleichen Druck hat. Die Magnete der Wechselstrommaschinen werden durch Gleichstrommaschinen erregt. Durch die unmittelbare Kuppelung der Erregermaschine mit der Wechselstrommaschine erspart man die Dampfmaschine, welche sonst die Erregermaschine antreibt, man spart am Personal und erhöht, wenn auch nur in geringem Maße die Sicherheit und Regulierfähigkeit. Diese Kuppelung wird heute wohl ganz allgemein angewendet; ein Nachtheil derselben ist es, dass bei Betriebsstörungen die Erregerspannung sofort sinkt.

Maschinen mit Riemenbetrieb lassen sich leichter parallel schalten, als starr gekuppelte Maschinen. Bei der ersteren Anordnung stellt sich der Synchronismus, wenn die Parallelschaltung nicht rechtzeitig erfolgt ist, durch das Gleiten des Riemens von selbst ein. Die nicht rechtzeitige Parallelschaltung erkennt man an den Pendeln, d. i. an dem fortwährend auf- und abgehenden Stromzeiger der zugeschalteten Maschine. Sind die Maschinen unmittelbar gekuppelt und erfolgt das Parallelschalten nicht zur richtigen Zeit, dann muss die Regulierung der Kraftmaschine so erfolgen, dass sie von der Wechselstrommaschine angetrieben wird. In letzterem Falle nimmt die Wechselstrommaschine von den Sammelschienen Strom ab und läuft als Motor. Gleichzeitig steigert man die Erregung der zugeschalteten Maschine. Es tritt ein hoher wattloser Strom auf, durch welchen die Maschine selbst in Tritt kommt.

Der Schalter einer nicht rechtzeitig eingeschalteten Maschine darf nur in dem Augenblicke geöffnet werden, in welchem der Maschinenstrom sehr klein ist.

136. Schaltung der Anker. Sämmtliche Anker der Wechselstrommaschinen sind parallel geschaltet und geben die gleiche Spannung an das Netz ab.

137. Erregung. Die Erregung muss der Belastung der Maschine angemessen sein, denn sonst tritt ein hoher wattloser Strom, d. h. ein

Strom mit großer Phasenverschiebung gegen seine Spannung auf. Der wattlose Ausgleichsstrom (Korrektionsstrom) tilgt zwar keine Arbeit, belastet jedoch die Maschinen zwecklos mit Strom und erwärmt dieselben. Das Verhältnis der Stromstärke zu der am Leistungszeiger abzulesenden Leistung soll deshalb an allen Maschinen annähernd gleich sein.

138. Änderung der Netzspannung. Soll bei Parallelbetrieb die Netzspannung geändert werden, so muss man die Erregung aller Maschinen verändern. Es werden deshalb bei selbstthätiger Regulierung sämmtliche Regulierwiderstände gekuppelt, außerdem muss jedoch ein Regulieren von Hand aus möglich sein.

139. Abschalten einer parallel geschalteten Maschine. Das Abschalten einer Maschine umfasst:

1. Die Entlastung der Maschine. Der Leistungszeiger muss die Leistung Null anzeigen. Die Entlastung wird durch das Regulieren der Kraftmaschine, z. B. durch Abdrosselung der Dampfzufuhr bewirkt. Markiert man sich die Regulatorstellung bei Leerlauf, so braucht man bei der Abstellung nur wieder dieselbe Stellung zu wählen.

2. Einstellung der Stromstärke Null durch Änderung der Erregung. Ähnlich wie unter 1. kann man sich die für den Leerlauf erforderliche Einstellung der Regulierwiderstände durch Marken bezeichnen. Beim Abstellen braucht man dann nur wieder dieselben Stellungen einzustellen.

140. Belastungswiderstände. Belastungswiderstände sind erforderlich, wenn die Kraftmaschinen unbelastet sehr unruhig arbeiten.

141. Pendeln. Wenn die Stromzeiger von Wechsel- oder Drehstrommaschinen, welche von Dampfmaschinen angetrieben werden, stark schwingen, so fließen starke Ausgleichsströme (Korrektionsströme) zwischen den Maschinen; dann wogt die Gesammtleistung zwischen den einzelnen Maschinen hin und her. Man nennt diese Erscheinung das „Pendeln" der Wechselstrommaschinen[1]).

142. Phasenindikator. Der Phasenindikator dient zur genauen Beobachtung des Augenblickes der Parallelschaltung von Wechselstrommaschinen. Derselbe besteht aus zwei kleinen Transformatoren. Die Primärwickelung des einen Transformators ist in die bereits einge-

[1]) G. Kapp, Elektrotechnische Zeitschrift 1899, H. 7.
Gustav Benischke, Elektrotechnische Zeitschrift 1899, S. 870.



schaltete Wechselstrommaschine eingeschaltet, die Primärwickelung des zweiten Transformators erhält Strom aus der zuzuschaltenden Wechselstrommaschine. Die Transformatoren bringen die Spannung auf die gewöhnliche Klemmenspannung. Bei geringer Maschinenspannung können die Transformatoren erspart werden. Die sekundären Wickelungen verbindet man entweder durch Umschalten mit einem Voltmeter um die Spannung der Maschinen regulieren zu können oder es sind die sekundären Windungen hintereinander oder gegeneinander geschaltet, und durch zwei hintereinandergeschaltete Glühlampen geschlossen. Sind die Maschinen nicht genau perioden- und phasengleich, dann erfolgen Schwebungen (Fluktuationen); letztere erfolgen um so langsamer, je näher die Phasengleichheit erreicht ist. Sind die beiden sekundären Wickelungen gegeneinander geschaltet, dann werden die Lampen im Augenblicke der Phasengleichheit dunkel, sind die sekundären Wickelungen hintereinandergeschaltet, dann werden sie in diesem Augenblicke hell. In dem ersteren Falle tilgen sich die phasengleichen und gleichgroßen Spannungen gegenseitig, in dem letzteren Falle addieren sie sich.

143. Synchronisator. Es ist vortheilhaft, die Phasengleichheit längere Zeit zu erhalten. Wenn nicht genügend Schwungmassen vorhanden sind, ist diese Einstellung schwer durchführbar. Man benützt dann in solchen Anlagen Synchronisatoren. Ganz & Co. verwenden zu diesem Zwecke zwei größere Transformatoren, welche gerade so geschaltet sind wie die Phasentransformatoren; sie arbeiten auf einen Widerstand und reißen die einzuschaltende Maschine in „Takt“. Gisbert Kapp hat für Bristol zu demselben Zweck zwei Drosselspulen hintereinander geschaltet.[1])

144. Weitere Phasenindikatoren. Der in § 142 beschriebene Phasenindikator wird zumeist angewendet. Derselbe lässt jedoch nur relative Schlüsse zu, da man nicht weiß, welche Maschine voreilt. Das Voreilen erkennt man vermittelst stroboskopischer Erscheinungen. Von der einen Wechselstrommaschine wird eine Scheibe durch einen Synchronmotor synchrom angetrieben. Die Scheibe besteht z. B. aus Hartgummi, auf welche radial Staniolstreifen aufgeklebt sind, so dass die Scheibe wie ein Rädchen aussieht, dessen Speichen die Staniolstreifen bilden. Das Rädchen lauft dann scheinbar vorwärts, rückwärts oder gar nicht, je nachdem die zweite Maschine nacheilt, voreilt oder gleichzeitig (synchron) lauft.

Feldmann erreicht in seinem Phasometer ein Vor- oder Rückeilen oder Stillstand an einer Eisen- oder Metallscheibe, welche sich

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1894, S. 488.

zwischen zwei gekreuzten Spulen befindet. Je eine Spule ist in eine der parallel zu schaltenden Wechselstrommaschinen eingeschaltet. Die Scheibe steht bei Phasengleichheit still.

145. Parallelschalten der Einphasenmaschinen.

1. Niederspannungsmaschinen. Die Schalter K_1 und K_2, Fig. 431, dienen zum Anschluss der Maschinen an die Sammelschienen des Schaltbrettes bezw. zum Anschluss an die Netz-Leitungen NL_1, NL_1 und NL_2, NL_2. In den Anschlussleitungen der Maschinen D_1 und D_2 befinden sich die Sicherungen S_1 S_2 und S_3 S_4, die Leistungszeiger L_1

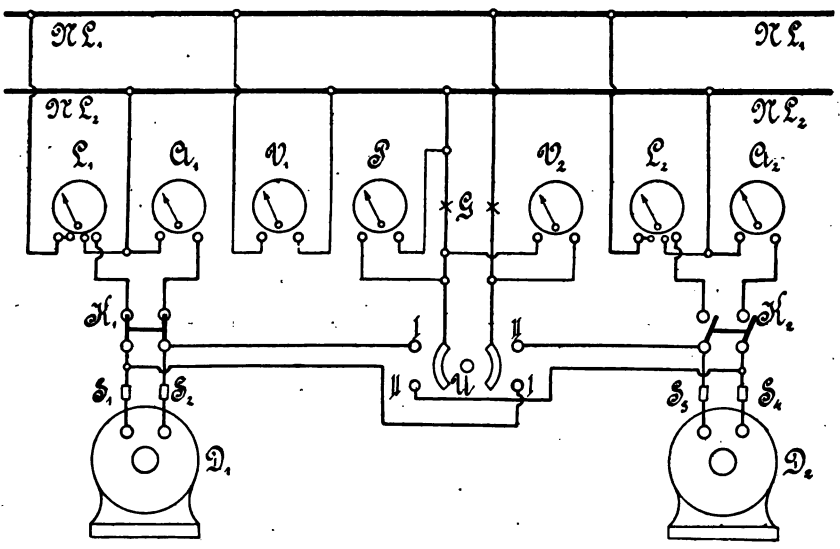


Fig. 431. Nebeneinanderschaltung von Einphasenmaschinen. (Niederspannungsmaschinen.)

und L_2 und die Stromzeiger A_1 und A_2. Zwischen die Klemmen des Umschalters U sind die Phasenlampen G geschaltet. Ist die Betriebsspannung 110 Volt, so muss auch die Spannung jeder der Lampen G 110 Volt betragen, weil diese Lampen sonst durchbrennen. Zu der einen Glühlampe G ist der Phasenvergleicher (Spannungszeiger) P parallel geschaltet. An dem Umschalter U liegt der Spannungszeiger V_2; letzterer misst die Spannung an der jeweilig eingeschalteten Maschine. Die Spannung an den Sammelschienen zeigt der Spannnngszeiger V_1.

Vorgang beim Parallelschalten. Die Maschine D_1 sei eingeschaltet, die Maschine D_2 sei zuzuschalten. Der Umschalter U wird auf die Kontakte *II II* gestellt. Stimmen die Umdrehungszahlen

nicht überein, so erfolgt das Aufleuchten und Erlöschen der Lampen gleichzeitig. Das Letztere erfolgt desto seltener, je besser die Umdrehungszahlen der Maschinen übereinstimmen. Gleichzeitig ändern sich auch die Angaben des Spannungszeigers P. Durch die Regulierung der Kraftmaschine erreicht man das langsame Ändern der Leuchtkraft der Phasenlampen G. Jetzt stellt man durch Änderung der Erregung die Spannungszeiger V_1 und V_2 auf gleiche Spannung ein. Der doppelpolige Schalter K_2 kann geschlossen werden, sobald die Lampen G einige Sekunden dunkel bleiben oder sobald der Phasenzeiger P einige Sekunden in der Nullstellung verbleibt. Die erstere Erscheinung ist besser zu beobachten als die letztere. Das Zuschalten der Dynamo D_2 bewirkt keine Spannungsschwankungen im Netz, die zugeschaltete Maschine liefert keinen Strom und leistet keine Arbeit. Die Belastung erfolgt erst durch das Regulieren der Kraftmaschine, während die Änderung der Erregung nur den wattlosen Strom ändert.

2. Hochspannungsmaschinen. Die Parallelschaltung von Hochspannungsmaschinen geschieht wesentlich in derselben Weise, wie die Parallelschaltung von Niederspannungsmaschinen. Der einzige Unterschied besteht in Folgendem: Messinstrumente (Spannungszeiger, Phasenzeiger u. s. w.) müssen, damit sie ohne Gefahr berührt werden können, vom Hochspannungsnetze getrennt werden. Zu diesem Zwecke werden zwischen Hochspannung und Instrumente Transformatoren geschaltet.

Die Wechselstrommaschine WM, Fig. 432, sei bereits auf das Netz NL geschaltet, die zweite Wechselstrommaschine sei zuzuschalten.

Der Vorgang ist dann der folgende:

1. Anlaufen lassen von A_2.

2. Erregung durch Verstellung von W_2 und W_4 auf normale Spannung.

3. Belastung mit Hilfe eines Belastungsrheostates, so dass die Belastung beider Maschinen gleich groß ist. Der Belastungsrheostat ist an die Hilfsleitung HL angeschlossen.

4. Beobachtung der Gleichheit der Umdrehungen am Tachometer, der Phasengleichheit am Phasentransformator, der Spannungsgleichheit am Spannungszeiger.

5. Parallelschalten bei A_3.

Die beiden Maschinen arbeiten nun gemeinsam auf das Netz und die Belastungsrheostate.

6. Allmähliche Ausschaltung des Belastungswiderstandes.

7. Gleichmäßige Vertheilung der Belastung durch die Verstellung der Kurbeln der Erregerrheostate W_2 W_3. Die Erregung kann für jede Wechselstrommaschine gesondert oder für alle Welchselstrom-

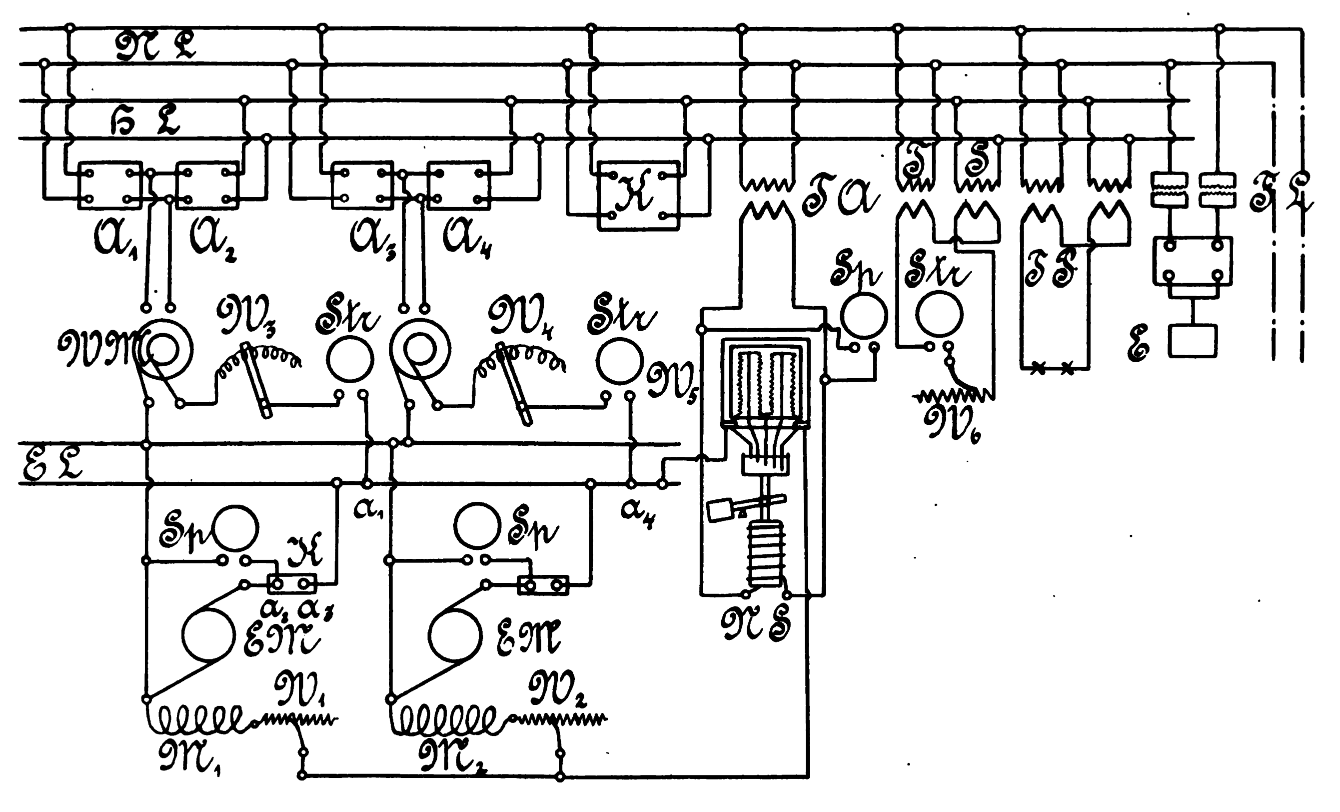


Fig. 432. Nebeneinanderschaltung von Einphasendynamos (Hochspannungsmaschinen).

maschinen von zwei Sammelschienen *EL* erfolgen. In jüngster Zeit hat jede Wechselstrommaschine eine eigene Erregermaschine, welche auf derselben Welle sitzt.

Bezeichnungen zu Figur 432.

A = Ausschalter.
E L = Erregerleitung.
E M = Erregermaschine.
E = Erde.
E L = Fernleitung.
N L = Netzleitung.
H L = Hilfsleitung.
M = Magnetwicklung.
N S = Nebenschlusspule des Nebenschlussautomaten.
Sp. = Spannungszeiger.
Str. = Stromzeiger.
T A = Automat-Transformator.
T P = Phasenindikator.
T S = Synchronisator.
W = Rheostat.
W M. Wechselstrommaschine.
K = in dem oberen Theile der Fig.: Hochspannungsschalter.
K = in dem unteren Theile der Figur.: Ausschalter.
a = Abzweigungen der Zuleitungen zu den Erregermaschinen.

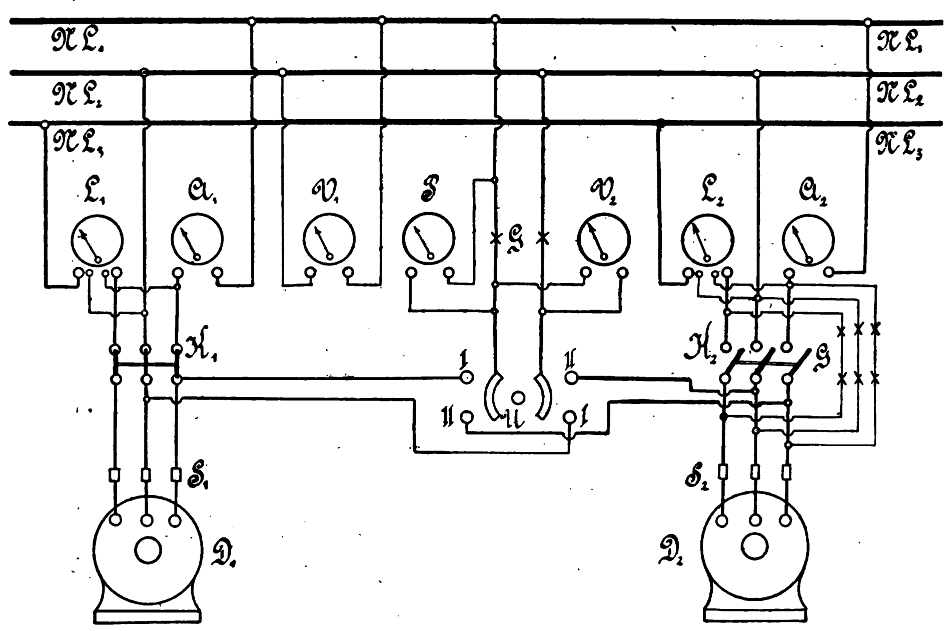


Fig. 433. Nebeneinanderschaltung von Dreiphasenmaschinen (Niederspannungsmaschinen).

146. Parallelschalten von Zweiphasenmaschinen.

Das Parallelschalten von Zweiphasenmaschinen erfolgt nach denselben Regeln, wie das Parallelschalten der Einphasenmaschinen. Es verhält sich dann so, als wenn zwei Einphasensysteme zu regulieren wären.

147. Parallelschalten von Dreiphasenmaschinen.

1. Niederspannungsmaschinen. Die Parallelschaltung der Maschinen D_1 und D_2, Fig. 433, geschieht im Wesentlichen ebenfalls so wie die Parallelschaltung der Wechselstrommaschinen D_1 und D_2 Fig. 431. Der Anschluss der Maschinen an die Sammelschienen beziehungsweise an das Leitungsnetz NL_1, NL_1, NL_2, NL_2 und NL_3, NL_3 vermittelt der dreipolige Umschalter K_1 und K_2. An den Phasenvergleicher werden nur zwei Klemmen der Drehstrommaschinen angeschlossen. Nur phasengleiche Maschinenklemmen dürfen miteinander verbunden werden. Diese Bedingung wird durch den folgenden Vorgang erreicht.

Die Maschine D_1 sei eingeschaltet, die Maschine D_2 dagegen zuzuschalten. Zu diesem Behufe schaltet man zwischen die Klemmen des dreipoligen Schalters K_2 in jedem der drei Stromkreise Glühlampen hintereinander. In der Figur sind je zwei Glühlampen hintereinander geschaltet. Die Spannung der hintereinander geschalteten Lampen muss 15% größer sein, als die Maschinenspannung.

Nun wird die Maschine D_2 sowie bei der Einphasenstromniederspannungsmaschine auf gleiche Umdrehungszahl und gleiche Spannung gebracht. Dann leuchten die Glühlampen G gleichzeitig auf und erlöschen gleichzeitig, wenn die Verbindungen von der Maschine D_2 in richtiger Phasenfolge vorgenommen worden sind. Ein nach einander erfolgendes Hell- und Dunkelwerden der Lampen in den drei Stromkreisen erfordert ein Vertauschen zweier beliebiger Leitungen. Im Augenblicke des Parallelschaltens müssen die Lampen G und g gleichzeitig dunkel sein und der Spannungszeiger P auf Null stehen.

Sollte der Phasenvergleicher P mit dem Dunkelwerden der Lampen G und g nicht auf Null stehen, so sind seine Anschlüsse zu verwechseln. Die Phasenfolge der Maschinen kann man leicht durch den Anschluss von Dreiphasenmotoren an das Netz prüfen. Ist die Phasenfolge gleich, so lauft der Dreiphasenmotor in demselben Sinne (nach rechts oder nach links), gleichgiltig von welcher Maschine er Strom erhält. Sobald man die phasengleichen Maschinenklemmen bestimmt und richtig verbunden hat, schaltet man die Dreiphasenmaschinen so wie die Einphasenmaschinen parallel.

Hochspannungsdreiphasenmaschinen. Diese Parallelschaltung unterscheidet sich von der zuletzt beschriebenen, sowie bei Einphasenmaschinen wieder wesentlich dadurch, dass die Messinstrumente, damit sie ohne Gefahr berührt werden können, vom Hochspannungsnetze abgetrennt werden. Das Abtrennen besorgen auch hier Transformatoren zwischen der Hochspannung und zwischen den Instrumenten.

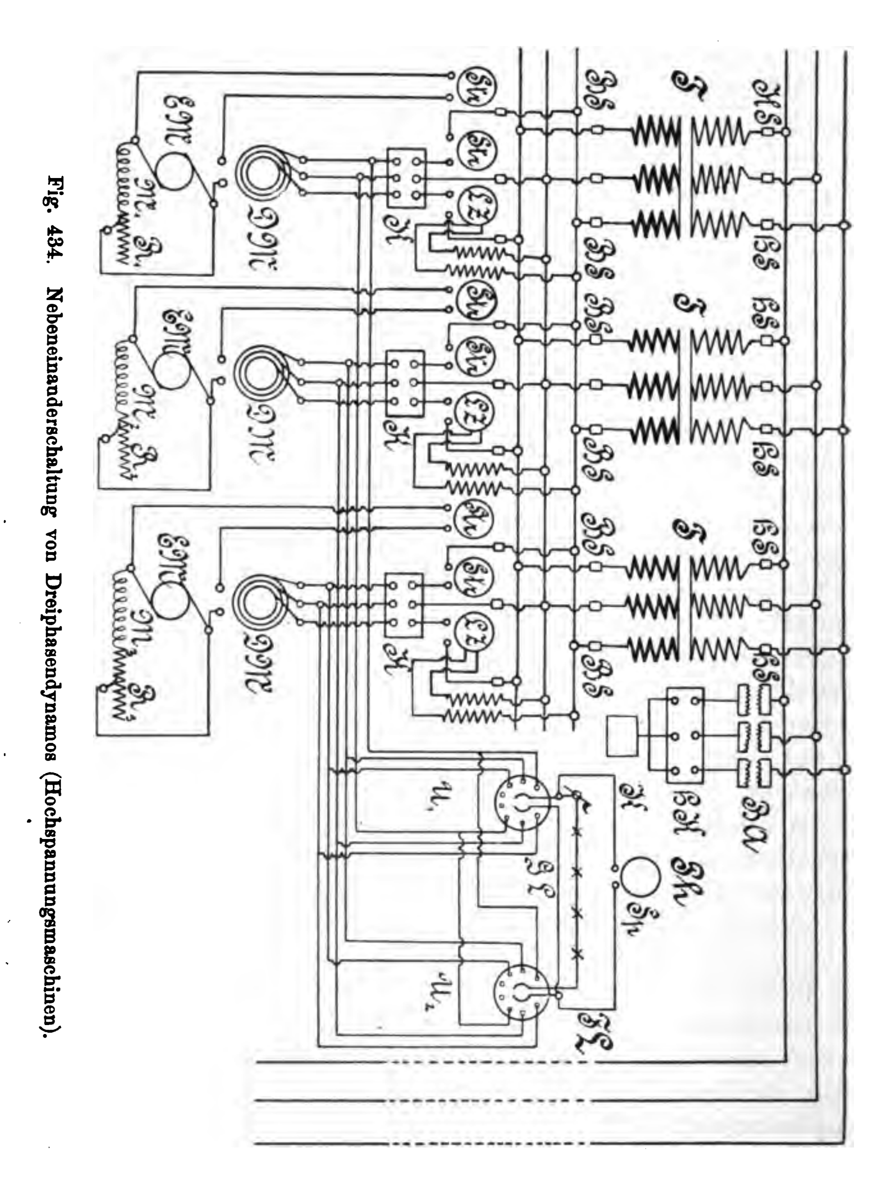


Fig. 434. Nebeneinanderschaltung von Dreiphasendynamos (Hochspannungsmaschinen).

Das Schaltungsschema sammt der Schaltung der Phasenglühlampen zeigt Figur 434.

Bezeichnungen zu Figur 434.

K = Ausschalter.
B A = Blitzableiter.
B S = Bleisicherungen.
D M = Dreiphasenmaschinen.
E M = Erregermaschinen.
F L = Fernleitung.
G L = Glühlampen.
H K = Hochspannungsausschalter.

H S = Hochspannungssicherung.
L Z = Leistungszeiger.
M = Magnetwickelung.
Sp = Spannungszeiger.
Str = Stromzeiger.
U = Umschalter.
T = Transformator.
R = Rheostat.
Ph = Phasenzeiger.

XII. Kapitel.

Regulierung.

148. Eintheilung. Wir unterscheiden in Beleuchtungsanlagen nebeneinander und hintereinander geschaltete Lampen. An nebeneinander geschalteten Lampen muss die Spannung immer dieselbe sein, wenn auch Lampengruppen ein- oder ausgeschaltet werden. Bei hintereinander geschalteten Lampen dagegen muss auf konstante Stromstärke reguliert werden. Die Mehrleitersysteme (§ 95 bis 97) stellen eine Vereinigung der Neben- und Hintereinanderschaltung dar. In diesen Fällen muss demnach die Regulierung auf konstanten Strom und auf konstante Spannung erfolgen. Beim Dreileitersystem (§ 93) soll der Strom im Mittelleiter möglichst klein und die Spannung in den beiden Netzhälften gleich sein.

Im Theater z. B. muss man die Lichtstärken in möglichst weiten Grenzen verändern können. Aus diesen Erörterungen ergeben sich die folgenden Regulierungen:

1. Regulierung auf konstante Spannung.
2. Regulierung auf Strom.
3. Regulierung auf Ausgleich.
4. Regulierung auf veränderliche Lichtstärke.

149. Regulierung auf konstante Spannung. Diese Regulierung kann an den Dynamomaschinen selbst durch Änderung der Erregung oder Wickelung erfolgen, Durch einen Rheostat im Nebenschluss einer Dynamo ändert man die Erregung und damit die Spannung der Maschine. Annähernd konstante Spannung erreicht man auch durch die Kompoundwickelungen bei Dynamomaschinen (I. Th. 2. B. S. 176). Die Widerstandsregulierung im Nebenschlusse können auch Automaten (I. Th. 2. B. S. 180) besorgen.

Bei Fernleitungen mit nur einigen Speiseleitungen genügt es manchmal, wenn man die Spannung in der Centrale dem Spannungs-

verlust in der Leitung entsprechend erhöht. Sonst muss man vermittelst der Prüfdrähte einen Kontrollspannungszeiger einschalten. Zum Ausgleiche der Spannung im Netze dienen auch Widerstände und elektromotorische Kräfte. Der Ausgleich durch Widerstände bedingt Arbeitsverluste. Der Ausgleich durch elektromotorische Kräfte geschieht vermittelst der sogenannten Hilfs- oder Zusatzdynamos. Bei letzteren werden in der Regel Anker und Magnete hintereinandergeschaltet. Diese Dynamos treiben eigene Motoren mit konstanter Umdrehungszahl an. Die Zusatzdynamos werden hauptsächlich in Akkumulatorenanlagen verwendet.

Die Akkumulatoren müssen mit einer höheren als der Netzspannung geladen werden. Während des Betriebes befindet sich der Akkumulator parallel zum Netz und muss also die Netzspannung abgeben, während der Ladung dagegen müssen die Nachschalterzellen mitgeladen werden, sodass eine höhere als die Netzspannung erforderlich wird. Als Zusatzdynamo kann auch eine Nebenschlussmaschine Verwendung finden. Oft wird auch zum Laden des Akkumulators eine Doppelmaschine (Transformator) benützt; letztere besteht aus zwei Dynamomaschinen mit gemeinsamer Welle. Die eine Dynamo erhält die Netzspannung und läuft als Motor, die zweite gibt eine höhere Spannung ab und ladet den Akkumulator. Die Schaltung des Zellenschalters befindet sich an anderer Stelle. (II. Th. 4. B.).

Auch bei Wechselstrom kann durch Widerstände und elektromotorische Kräfte reguliert werden. Bei Gleichstrom kommen bei der Regulierung durch elektromotorische Kräfte Akkumulatoren und Dynamos in Betracht, bei Wechselstrom dagegen erfüllen Drosselspulen und Transformatoren denselben Zweck.

Bei hohen Verlusten in den Speiseleitungen der Wechselstromnetze benutzt man sogenannte Spannungserhöher oder Booster.[1]) Derselbe besteht aus einem Transformator, welcher primär von den Sammelschienen abzweigt und sekundär stufenweise in die Speiseleitung einschaltbar erscheint.

150. Regulierung auf konstanten Strom. Bei der Hintereinanderschaltung muss jeder Stromverbraucher eine Kurzschluss- oder Nebenschlussvorrichtung besitzen. Die Regulierung besorgen auch hier Widerstände, Drosselspulen und Transformatoren. Bei Bogenlampen wird ein Ersatzwiderstand automatisch eingeschaltet. Die Parallelschaltung der Drosselspulen zu den Stromverbrauchern zeigt Fig. 435. Man kann auch eine Reihe von Transformatoren mit ihren primären

[1]) Gisbert Kapp, Transformatoren S. 158.

Windungen hintereinander schalten und die sekundären Windungen mit Lampengruppen belasten. Die Lampen werden dann von einander unabhängig und können in beliebiger Zahl ein- und ausgeschaltet werden. Will man gewöhnliche Lichttransformatoren verwenden, so steigt bei konstantem Primärstrom die Klemmenspannung bei offener sekundärer Wickelung zu hoch an. Elihu Thomson (1889) verwendet deshalb einen sogenannten Streutransformator mit der folgenden Anordnung: Die primäre Wickelung dieses Transformators ist an die Hauptleitungen s, Fig. 436, angeschlossen, in den sekundären Wickelungen befinden sich die Lampen L. Die Streuung in dem Schlitze $a\ b$ wächst mit dem sekundären Strom. Sind alle Lampen kurz geschlossen, dann muss demnach die Streuung den größten Wert haben. Sie nimmt den kleinsten Wert an, wenn sämmtliche Lampen brennen. Bei kurzgeschlossenen Lampen wird daher die Spannung an den Lampen am kleinsten, beim Brennen sämmtlicher Lampen dagegen am größten.

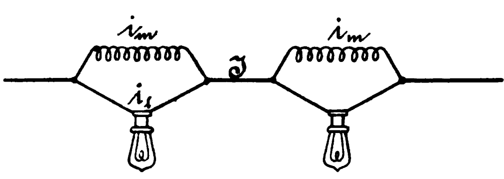


Fig. 435. Drosselspulen parallel zu Glühlampen.

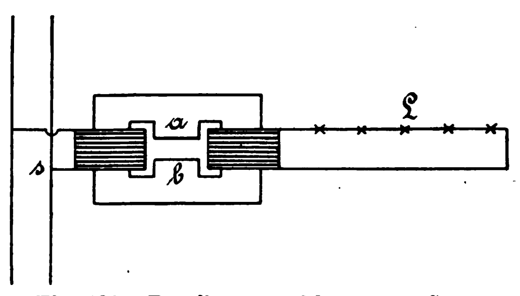


Fig. 436. Regulierung auf konstanten Strom.

151. Regulierung auf Ausgleich. Der Belastungsausgleich bei neben- und hintereinander geschalteten Maschinen wurde bereits besprochen. (I. Th. 2. B. S. 171 und II. Th. 2. B. XI.)

Die Ausgleichung der Spannungen in einem Netze kann umso vollkommener sein, je geringer die Spannungsverluste im Verhältnisse zur Gesammtspannung und je einfacher das Netz ist.

Die Regulierung der Phasenverschiebung im Netze besorgen Drosselspulen, Transformatoren und Kondensatoren.

152. Regulierung auf veränderliche Lichtstärke. Die Regulierung auf veränderliche Lichtstärke geschieht in der Regel dadurch, dass man von mehreren Lampen einzelne abschaltet. Das Hell- und Dunkelbrennen einzelner Lampengruppen kommt in Krankenhäusern vor, wo während der Nacht eine geringere Beleuchtung gewünscht wird, zum Geben von Signalen bei Leuchtfeuern, zur Hervorbringung der Lichteffekte in Theatern u. s. w.

Will man auf verschiedene Lichtstärken regulieren, so verwendet man z. B. zweierlei Glühfäden in einer Birne, Widerstände, Drosselspulen. Die letzteren werden bei hoher Lichtstärke kurzgeschlossen, bei geringer eingeschaltet. Die Drosselspulen finden auch in Abtheilungen untertheilt Verwendung.

Man kann auch Lampen von verschiedener Spannung gegenseitig vertauschen oder Lampen hintereinander schalten und so verschiedene Lichtstärken hervorbringen.

Bei Straßenbeleuchtungen von Städten schaltet man die Lampen in zwei Stromkreise und löscht den einen Stromkreis nach Mitternacht aus. Bei Bogenlicht schaltet man einzelne Lampen aus oder ersetzt sämmtliche Bogenlampen oder Bogenlampengruppen durch Glühlampen.

In Theatern werden zur Regulierung des Lichtes der einzelnen Bühnenbeleuchtungskörper sogenannte Modulierrheostate verwendet. Die Färbung der Lampen erreicht man durch an den Beleuchtungskörpern angebrachte cylindrische Gelatineschirme. Man nennt dieses System das Einlampensystem, während beim Mehrlampensysteme jeder Bühnenbeleuchtungskörper meist 3 verschiedenfarbige Lampen enthält. Mit der letzteren Anordnung lassen sich Farbenstimmungen leicht erzielen.

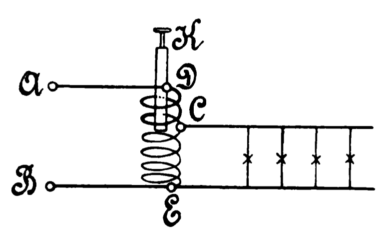


Fig. 437. Regulierung auf veränderliche Lichtstärken.

Auch mit Wechselstrom sind dieselben Widerstandsregulierungen durchführbar. Man verwendet dann eine magnetisch offene Drosselspule, Fig. 437. Dieselbe besitzt zwei Wickelungen, welche hintereinander geschaltet und an die Klemmen eines Transformators *A B* angeschlossen sind. Die Abzweigung des Lampenkreises erfolgt an der Verbindungsstelle der beiden Spulen *C*. Die dicke Spule *D C* wirkt als Serienspule, die dünnere *C E* liegt parallel zu den Lampen. Solange der Kern tief in der dünnen Spule steckt, brennen die Lampen mit voller Helligkeit weil kein Strom durch die dünnen Windungen hindurchgelassen wird. Sobald der Kern die in der Figur ersichtliche Stellung einnimmt (in der oberen Spule steckt), brennen die Lampen am dunkelsten.

Fig. 438 zeigt einen Bühnenregulator der General Electric Co. Bei diesem Apparate wird die Wirkung einer Drosselspule durch Verstellung einer gut leitenden Hülle verwendet. Dieser von Elihu Thomson erfundene Dämpfer besteht aus einem untertheilten Weicheisenring, dessen Umfang theilweise mit isoliertem Draht bewickelt er-

scheint. Innerhalb dieses Ringes dreht sich eine untertheilte Eisentrommel sammt einem mit derselben verschraubten Kupfersegmente. Die Verstellung der Trommel kann vom Schnürboden aus mittelst eines Handrades vorgenommen werden. Sobald das mantelförmige Kupfersegment die Wickelung gerade überdeckt, wirkt sie so wie die kurzgeschlossene Sekundärspule eines stark streuenden Transformators und es ist die Impetanz sehr klein. In der gezeichneten Stellung hat die Induktion ihren maximalen Wert. Die Übergänge von geringer auf große Helligkeit liegen zwischen diesen beiden Stellungen.

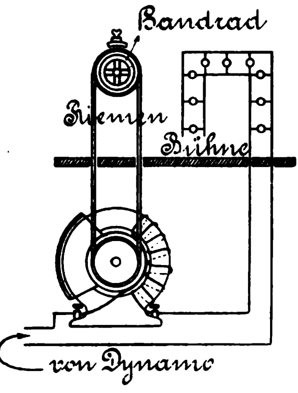


Fig. 438. Bühnenregulator.

Figur 439 bringt den **Bühnenregulator** von **Hermann Müller.**[1]) Derselbe schaltet die sekundären Windungen der Spule *s* eines Transformators aus. Bei diesem Ausschalten werden Kurzschlüsse der Windungen durch Zwischenschaltung von Drosselspulen s_1 s_2 s_3 s_4 u. s. w. vermieden. K K^1 stellen die Klemmen der primären Windungen p des Transformators vor. Die Leitungen l_1 l_2 u. s. w. dienen

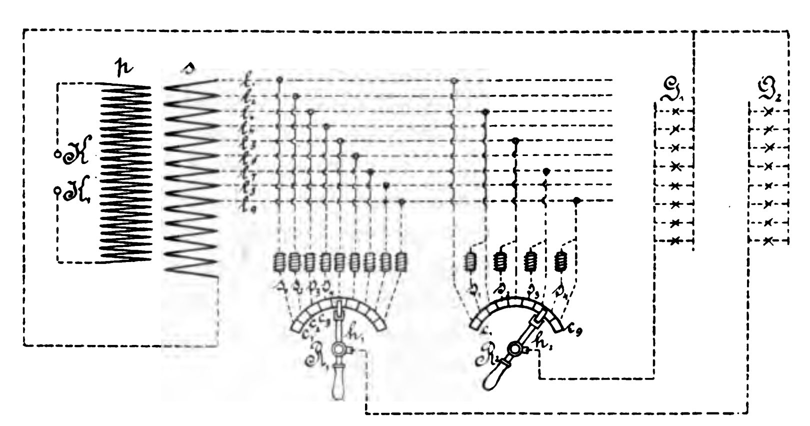


Fig. 439. Bühnenregulator.

zum Anschlusse der Drosselspulen s_1 s_2 u. s. w. an die Kontakte c_1 c_2 c_3 c_4 u. s. w. der Kommutatoren R^1 R^2. Die Hebel h_1 und h_2 dienen zum Ausschalten der Windungen der sekundären Spule *s*. Der Regulator R^1 reguliert in dem Stromkreise der Glühlampengruppe G_1, der Regulator R_2 dagegen in jenem der Gruppe G_2.

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1894, S. 564.

XIII. Kapitel.

Beschreibung von Centralstationen.

153. Die Wiener Centralstationen der Allgemeinen Österreich. Elektricitäts-Gesellschaft.

Die Centrale Leopoldstadt arbeitet mit einer zweiten Centralstation, der Centrale Neubad, zusammen in ein gemeinschaftliches Kabelnetz zur Versorgung mehrerer Bezirke der Stadt Wien mit elektrischem Strom für Beleuchtung und Kraftübertragung.

An diese beiden, der Allgemeinen Österreich. Elektricitäts-Gesellschaft gehörigen Centralstationen, waren Ende 1900 rund 3534 Bogenlampen, 130154 Glühlampen und 1519 Elektromotoren, entsprechend einem Äquivalent von etwa 403154 Glühlampen à 16 *H K* und 50 Watt = 201577 Hektowattstunden Energiebedarf, angeschlossen. Davon entfallen auf den Tramwaybetrieb 3030 Glühlampen, 13 Bogenlampen, 453 Motoren entsprechend 189980 Lampen à 50 Watt = 94990 Hektowattstunden.

Die Anlagen wurden nach dem Gleichstrom-Fünfleiter-System von der Firma Siemens & Halske erbaut; demnach werden die Lampen in 4 Gruppen, also zwischen 5 Leitungen, hintereinander geschaltet; die Spannung zwischen den Außenleitern im Netz beträgt daher das vierfache der Lampenspannung, d. i. im vorliegenden Falle $4 \times 110 = = 440$ Volt; in der Centrale aber muss für die Feeder, je nach deren Belastung und dem darin zugelassenen Verluste, eine Spannung von 440—540 Volt herrschen. Für diese Spannung sind die Dynamomaschinen konstruiert, während die Theilung der Spannung, entsprechend den 4 Lampengruppen und der Ausgleich in den letzteren, durch Sammler erfolgt.

Die höhere Spannung ermöglicht es auch bei einem so ausgedehnten Netze wie dem vorliegenden mit verhältnismäßig schwachen Querschnitten der Leitungen das Auslangen zu finden, also das Anlagekapital thunlichst klein zu erhalten; das System gewährt aber auch alle die anerkannten Vortheile der direkten Gleichstromvertheilung bei der durch die Anwendung von Sammlern bedingten Sicherheit und Wirtschaftlichkeit des Betriebes.

Eine besondere Bedeutung gewinnt das Gleichstrom-Fünfleitersystem für die elektrische Kraftübertragung und deren vornehmste Anwendung beim Betriebe elektrischer Bahnen; die hierfür bewährte,

erprobte Spannung von etwa 500 Volt ist dieselbe, welche in den Dynamomaschinen der Fünfleiteranlagen zur Anwendung kommt. Die Dynamomaschinen werden in den vorbenannten Centralen der Allgemeinen Österreich. Elektricitäts-Gesellschaft für den Betrieb elektrischer Bahnen benützt; zu diesem Zwecke sind auch die nöthigen Schaltvorrichtungen vorhanden.

Die im Schwerpunkt des Konsumes liegende Centrale Neubad ist mit 7 Wasserröhrenkesseln mit 1071 m^2 Heizfläche und 4 stehenden, schnellaufenden Collmann-Compoundmaschinen mit 1200 *P. S.* in direkter Kuppelung mit 7 Dynamos von Siemens & Halske ausgerüstet; außerdem steht hier ein Sammler, System Tudor, für normal 6000 Glühlampen à 16 *HK.*

Die Regulierung der Spannung im ganzen Netz und der Ausgleich derselben in den Gruppen erfolgen von der Centrale Neubad aus unter Vermittelung des Sammlers; es sind daher dortselbst auch alle für diese Zwecke nöthigen Apparate vorhanden, deren Überwachung und Bedienung eine äußerst einfache und gefahrlose ist.

Die Centrale Leopoldstadt, welche rund 1800 *m* von der Centrale Neubad entfernt und also dem Hauptstromverbrauch etwas entrückt erscheint, bewirkt die Stromlieferung an die Schienen der Centrale Neubad, welche allein dem gesteigerten Bedarfe nicht mehr genügte; die Regulierung der Stromabgabe an die Stromabnehmer erfolgt jedoch, wie oben erwähnt wurde, unter Vermittelung der Centrale Neubad. In der Fernleitung von der Centrale Leopoldstadt zur Centrale Neubad treten allerdings namhafte Spannungsverluste auf; in wirtschaftlicher Beziehung kommen dieselben jedoch gar nicht in Frage, da die Betriebskosten in der Centrale Leopoldstadt, hauptsächlich infolge der Anwendung von Condensationsmaschinen, wesentlich geringer als in der Centrale Neubad sind.

Durch die Anlage eines Sammlers, ist die Centrale Leopoldstadt im Bedarfsfalle zu einer Regulierstation umgestaltet worden.

Gegenwärtig sind 20 Stück Innenpoldynamomaschinen Type *J 110* von Siemens & Halske für je 540000 Watt und zwar für 1000 Ampère und 440—540 Volt bei 110—150 Touren in der Minute, in direkter Kuppelung mit Dampfmaschinen aufgestellt; die 6 Pole der einfachen Nebenschluss-Dynamomaschine sind innerhalb des Ringankers, der gleichzeitig den Kollektor bildet, angebracht. Als Vortheile dieser Bauart sind die äußerst günstige magnetische Anordnung, die gute Ventilation des Ankers, die Ersparung eines besonderen Kollektors und der geringe Raumbedarf hervorzuheben.

32 Kessel mit 7360 m^2 Heizfläche. 16 Dampfmaschinen mit 13600 *P. S.*

Von den Dynamomaschinen führen unterirdisch verlegte Kabel zu dem, um etwa 1·2 *m* über dem Maschinenhausfußboden liegenden, Schaltbrettaufbau, auf welchem die Umschalter, die Ampère- und Voltmesser zur Strom- und Spannungsmessung, sowie zur Parallelschaltung der Maschinen und die Nebenschlussregulierwiderstände untergebracht sind.

Die Umschalter ermöglichen es, jede Dynamomaschine entweder an das Lichtleitungsnetz in Verbindung und parallel mit der Centrale Neubad, oder an das Bahnleitungsnetz anzuschließen. Die Handhabung und Bedienung der wenigen vorhandenen Apparate (zu denen sich noch ein Strom- und ein Spannungszeiger für die Verbindungsleitung zur Centrale Neubad gesellen) gestaltet sich sowie der ganze Betrieb der Centrale Leopoldstadt, die ein reines Zweileitersystem mit 440—540 Volt Spannung darstellt, denkbar einfachst, so dass mit sehr geringem Personale das Auslangen gefunden werden kann. Im Maschinenhaus ist ein elektrisch betriebener Laufkrahn von 17·8 *m* Spannweite für 15 Tonnen Last vorhanden, welcher von Siemens & Halske mit elektrischem Antrieb versehen wurde. Jede Bewegung besorgt ein separater Motor; die Bedienung des Krahnes erfolgt unter Vermittelung von herabhängenden Schnüren. In der Centrale Neubad befinden sich 3 Laufkrahne mit je 5 Tonnen Tragkraft. Die Längen und Querschnitte der Verbindungskabel zwischen den Centralen Leopoldstadt und Neubad sind: 2800 mm^2, 2 à 1000 mm^2, 1 à 800 mm^2, Länge 1960 *m*.

154. Die Centralstation der Internationalen Elektricitäts-Gesellschaft in Wien.

Die bisher bedeutendste elektrische Centralanlage im Gebiete der österreichisch-ungarischen Monarchie mit Dampf nach dem Systeme des Wechselstromes mittels Fernleitung wurde in Wien seitens der Internationalen Elektricitätsgesellschaft errichtet.

Die Anlage in ihrer baulichen und technischen Einrichtung, eine Sehenswürdigkeit der Stadt, ist nach den Grundsätzen des modernsten wissenschaftlichen Fortschrittes errichtet worden.

An diese Centrale waren am 1. Juni 1091 164274 Hektowatt angeschlossen; dabei sind einbezogen 2441 Stück Bogenlampen, 712 Stück Motoren mit 1982 *P. S.*

Die Anlage, befindet sich außerhalb der Stadt in unmittelbarer Nähe der Donau. Sie besteht aus zwei räumlich getrennten Gebäudekomplexen, von denen der eine die Maschinenhalle und das Kesselhaus,

der andere, nebst dem Bureau's, Cisternen für das Einspritzwasser, 3 Dampfpumpen à 15 *P. S.*, eine Lehmann-Pumpe mit einem Motor von 20 eff. *P. S.*, 8 m^3 Wasser pro Minute, 2 Jägerpumpen zu 15 *P. S.*, 5 m^3 Wasser pro Minute, 1 Jägerpumpe zu 18 *P. S.* und Filteranlage, sowie Mechaniker- und Schlosserwerkstätten umfasst. Beide Gebäudekomplexe sind durch einen geräumigen Rohrkanal miteinander verbunden. Zwei Heberleitungen führen das Wasser aus der Donau in drei Brunnen. Das Wasser wird mittelst der erwähnten Dampfpumpen in große Cisternen geschafft, von wo es behufs Kondensation des Auspuffdampfes durch weite Röhren in das Maschinenhaus geleitet wird. Das Kondensationswasser, welches eine Temperatur von 35 bis 38° *C* hat, fließt zum Theile ab, zum Theil (etwa $^1/_{20}$) wird es in die Filteranlage gepumpt. Das Rohwasser hat die Härte 28° deutscher Skala. Zur Reinigung wird nicht Soda, sondern Ätznatron verwendet. Für 1 m^3 Rohwasser sind 130 Liter erforderlich; das sind 13%. Auf 130 Liter kommen 60 Gramm Ätznatron von 128° der deutschen Skala und 200 Gramm frisch gebrannten Kalkes. Es resultiert ein Speisewasser von 3 bis 3·5° Härte. Die gesammte Leistungsfähigkeit der Filteranlage beträgt derzeit 1800 m^3 in 24 Stunden. Das chemisch gereinigte und filtrierte Wasser dient sodann zur Kesselspeisung. Im Kesselhause sind gegenwärtig 8 Steinmüller'sche Röhrendampfkessel mit je 242 m^2 Heizfläche, 2 ebensolche Kessel von Simonis & Lanz mit je 213 m^2 Heizfläche für Dampfspannungen bis zu 12 Atm., 9 Babcock & Wilcox-Kessel à 300 m^2 Heizfläche, 13 Babcock & Wilcox-Kessel à 216 mm^2, zusammen 32 Stück Kessel mit rund 8000 m^2 Heizfläche aufgestellt.

Die Kessel sind einzeln parallel geschaltet. Sowohl das Kesselhaus als die Maschinenhalle sind gegenwärtig noch erweiterungsfähig, es ist deshalb nach der einen Seite der Abschluss durch eine provisorische Holzwand hergestellt, um jederzeit, ohne Störung des Betriebes, eine Erweiterung der Anlage vornehmen zu können. Im Kesselhause befinden sich 8 Worthington-Pumpen für die Kesselspeisung, 2 Worthington-Pumpen für die Filteranlage, 1 Hülsenberg-Pumpe für Nutzwasser.

Die Kohlenzufuhr in das Kesselhaus erfolgt mittels, auf Schienen geführter Karren. Für die Schlackenabfuhr dient ein unterhalb der Kesselbatterie gebauter Kanal, von wo die Schlacke mittels eines Elevators direkt in den Hof befördert wird.

Das Maschinenhaus umfasst gegenwärtig 19 Wechselstrommaschinen von Ganz & Co., Jede derselben ist mit ihrer zugehörigen Dampfmaschine (Compound-Kondensationsdampfmaschine von der Ersten Brünner Maschinenfabriks-Gesellschaft) und mit einer Gleich-

stromerregermaschine direkt gekuppelt. Die mechanische Gesammtleistung aller Dampfmaschinen beträgt 13600 *P. S.* Die ganze Centrale und das Leitungsnetz bestehen aus Betriebsrücksichten aus 3 Sektionen. Die Theater, die k. und k. Hofburg u. s. w. können selbstthätig von einer Sektion auf die andere umgeschaltet werden. Die 3 Sektionen sind:

1. Sieben Zweiphasenmaschinen à 600 *P. S.* Diese Maschinen waren früher einphasig; im vorigen Jahre wurden sie auf zwei Phasen umgebaut. Der innere Erregerkranz ist derselbe geblieben, der äußere Wechselstromkranz wurde umgebaut und mit einer Zweiphasenwickelung versehen.

2. Sieben Einphasenmaschinen à 700 *P. S.* (1894).

3. Fünf Stück Zweiphasenmaschinen à 800 *P. S.* (1898). Die alten Maschinen stammen von Zipernovsky, der Umbau derselben und die neuen Zweiphasenmaschinen von Otto Tytus Bláthy (Ganz & Co. in Budapest). Die Zweiphasenmaschinen sind unverkettet, die im Netze eingeschalteten Motoren dagegen verkettet.

Die ersten Wechselstrommaschinen (I. Th. 2. B. S. 296) bestehen im Wesentlichen aus einem Magnetrade, welches gleichzeitig als Schwungrad der Dampfmaschine dient und durch dessen Rotation in einem umgebenden, feststehenden Spulenkranz der Wechselstrom induciert wird. Die 40 Magnete stehen radial und werden durch direkt gekuppelte Gleichstrommaschinen erregt. Die Zuführung des Erregerstromes erfolgt von der Welle aus mittels zweier isolierter Schleifringe. Jede der Maschinen hat etwa 5000 Polwechsel in der Minute. Die besonderen Vorzüge dieser Maschinen sind ihr hoher Wirkungsgrad, ihre einfache und solide Konstruktion, sowie schließlich der Umstand, dass die dem Betriebspersonale zugänglichen, feststehenden, sowie alle rotierenden Theile der Maschine, entweder unelektrisch sind, oder Gleichstrom von niederer Spannung führen. Es ist auch bemerkenswert, dass die Maschinen bei voller Belastung, selbst nach einem vielstündigem Betrieb, keine nennenswerte Temperaturerhöhung zeigen. Der auf Schienen ruhende Spulenkranz kann durch eine einfache Drehvorrichtung verschoben werden, wodurch das Magnetrad frei und einer gründlichen Reinigung zugänglich gemacht wird.

Sowohl die Zuführung des Erregestromes, als auch die Ableitung des erzeugten Wechselstromes erfolgt mittels koncentrischer Kabel unterirdisch in einem Kabel-Kanal.

An den Wänden der Maschinenhalle befinden sich Schaltbretter.

Jede der Erregermaschinen besitzt ihren eigenen Nebenschlussrheostat. Mittels zweitheiliger Kurbelumschalter ist es möglich, jede der Maschinen entweder auf die Sammelschienen der Erreger oder auf die gemeinschaftliche Spannungszeigerleitung zu schalten. Ersteres findet

bei linksseitiger Kurbelstellung statt und gilt für die bereits im Betriebe befindlichen Maschinen (deren gemeinsame Betriebsspannung der Voltmesser anzeigt), letzteres bei rechtsseitiger Kurbelstellung für den Fall der Zu- oder Umschaltung der Maschinen, um sie (mit Benützung eines zweiten Voltmessers) vorher auf gleiche Spannung zu bringen. Die Stromabgabe jeder der Erreger kann an Ampèremessern abgelesen werden. In die gemeinsame Rückleitung der Nebenschlüsse der Erregermaschinen sind die Automatrheostate, System Bláthy (I. Th. 2. B. S. 181) geschaltet, welche zur automatischen Spannungsregulierung dienen.

Bezüglich der Schaltung der Wechselstrommaschinen ist zu bemerken, dass die Magneträder den Erregerstrom aus den Erreger-Sammelschienen empfangen. Der erzeugte Wechselstrom geht von jeder Maschine zunächst zu dem Stromzeiger und von da entweder zu einem linksseitigen oder rechtsseitigen Hochspannungsausschalter. Mittels ersterer kann jede der Wechselstrommaschinen an die Hauptsammelschienen, von denen die Straßenkabel abzweigen, mittels letzterer jedoch an die Belastungsrheostate angeschlossen werden. Diese Belastungsrheostate bestehen aus Eisendraht, welcher auf isoliert aufgestellte Rahmen aufgewickelt ist. Es sind Rheostate in so großer Zahl vorhanden, dass dieselben die volle elektrische Energie von 3 × 600 *PS* absorbieren können. Sie erscheinen in jeder Abtheilung in 48 Gruppen getheilt, welche durch eine Klaviatur einzeln zu- oder abschaltbar sind. Die nebeneinander zu schaltenden Wechselstrommaschinen werden, wie bekannt (Kap. XI), auf gleiche Spannung und gleiche Phase gebracht.

Die Phasengleichheit wird durch Belastung der neu hinzu zu schaltenden Maschinen mittels Ersatzrheostaten erzielt; den Zustand der Phasengleichheit zeigt der, aus einer Glühlampengruppe bestehende, Phasenindicator an. Von den Hauptsammelmaschinen gehen die Straßenkabel aus.

Von der Centrale zweigen gegenwärtig 21 Hauptkabel, koncentrische Kabel nach dem System Berthoud Borel, aus der Fabrik Felten & Guilleaume vorm. Jacottet & Co. in Wien, in die Stadt ab, welche zur Speisung von 375000 Glühlampen à 16 *H. K.* hinreichen.

Der weitest gelegene Stromabnehmer ist das k. u. k. Lustschloss in Schönbrunn (10 *km* Luftlinie). Die gesammte Länge des Kabelnetzes beträgt mehr als 360 *km*. Der Wechselstrom dieser Centrale dient auch zum Anrufe der Abonnenten seitens der statlichen Telephon-Centralen in Wien. Der Strom wird für diesen Zweck auf 4 Volt transformiert. Das Kabelnetz erstreckt sich über alle Bezirke Wiens.

Die Kabel, welche vor ihrer Verlegung auf die dreifache Betriebsspannung (6000 Volt) erprobt wurden, haben eine vorzügliche Isolation (in der Regel mehr als 1500 Megohm für 1 *km* bei 15° *C*) und sind durchwegs unterirdisch verlegt. Die Gesammtlänge der bisher verlegten Kabel beträgt mehr als 360 *km*. An verschiedenen Stellen des Kabelnetzes sind Vertheilungskästen eingesetzt, durch welche es möglich ist, sowohl die einzelnen Kabelstrecken mit den Hauptkabeln beliebig zu verbinden, als auch einzelne Strecken derselben behufs Ausführung von Arbeiten gänzlich abzuschalten und im Bedarfsfalle auf eine der beiden anderen Abtheilungen zu übertragen.

Von den Straßenkabeln führen die Abzweigungen in die Häuser, gewöhnlich in die Kellerräume zu den Transformatoren, welche sich in verschlossenen, mit Eisenblech ausgekleideten Kästen befinden.

Die Umsetzer, System Zipernowsky-Déri-Bláthy (II. Th. 1. B.) haben bei normaler Belastung einen Wirkungsgrad von 95—97%, ihr Umsetzungsverhältnis ist 1 : 18. Dieselben können als Bestandtheile der Vertheilungsleitung betrachtet werden, da sie vollständig selbstthätig wirken, also gar keine Bedienung erfordern. Um sie vor Überlastung zu schützen, findet die Zuführung des Primärstromes, sowie die Ableitung des Sekundärstromes, durch entsprechend bemessene Bleisicherungen statt. Von dem Umsetzer kann ein Zwei- oder Dreileitersystem (oder auch eine 50 voltige Leitung für einzelne Bogenlampen) zunächst zu einem Elektricitätszähler und von diesem zu der betreffenden Installation geführt werden.

Die Elektricitätszähler System Bláthy, zeichnen sich durch große Genauigkeit und überraschende Einfachheit aus. Sie enthalten kein Uhrwerk, sondern wirken selbständig, einzig und allein durch den elektrischen Strom. Sie werden gegenwärtig in mehreren Typen von 2 Ampère aufwärts verwendet.

In der Centralstation befindet sich auch ein Messzimmer, welches mit allen für den elektrischen Betrieb erforderlichen Messeinrichtungen versehen ist. Es sind dies Einrichtungen für Isolationsmessungen an Umsetzern und Leitungsmaterialien, ferner Vorkehrungen, um den Isolationszustand des gesammten Kabelnetzes, mit den daran angeschlossenen Maschinen und Umsetzern, jederzeit während des Betriebes ermitteln zu können, endlich Einrichtungen für die Aichung der Elektricitätszähler, eine Lichtmesserkammer für Lichtmessungen u. dgl.

Diese Centralstation ist seit 15. November 1890 in ununterbrochenem Betrieb.

Wenn man alle gegenwärtig angeschlossenen Glüh- und Bogenlampen nach ihrem Verbrauche an elektrischer Energie auf 16-kerzige

Glühlampen umrechnet, so beträgt die gegenwärtige Belastung der Centrale 400.000 Glühlampen à 16 *H. K.*

Die Bogenlampen werden zumeist in dreierlei Art geschaltet:

1. Einzelne Lampen mit Hilfe des Lampentransformators (§ 21).

2. Es werden Drosselspulen an 100 Volt angeschlossen und von den Windungen der Drosselspulen je drei Leitungen abgezweigt, so dass also zwischen je zwei dieser Leitung 30 Volt Spannung für je eine Bogenlampe vorhanden sind. Von jeder Drosselspule werden also drei Bogenlampen abgezweigt. Man nennt eine solche Drosselspule einen Divisor.

3. Früher wurden in der Regel 3 Lampen auf 100 Volt hintereinandergeschaltet.

Von den Konsumenten sind zu nennen: Die k. und k. Hofburg, das k. u. k. Lustschloss in Schönbrunn, Theater und Koncertlokalitäten (Karltheater, Musikverein), Bahnhöfe (Nordbahn, Franz Josefs-Bahn), öffentliche Institute und Banken, Clubs, zahlreiche Geschäftsetablissements, Gast- und Kaffeehäuser, sowie endlich viele Palais und Privatwohnungen.

Nur die Internationale Elektricitätsgesellschaft hat das Recht, Strom an den k. u. k. Prater abzugeben.

Weitere Centralstationen der Internationalen Elektricitätsgesellschaft nach dem Wechselstrom-Umsetzer-System Zipernowsky-Déri und Bláthy bestehen in Fiume, Bielitz-Biala und Teplitz.

XIV. Kapitel.

Vortheile der elektrischen Beleuchtung.

155. Vortheile.

1. Geringere Erwärmung der Luft als durch alle anderen Lichtquellen.

2. Reinhaltung der Luft in geschlossenen Räumen. Keine schädliche Einwirkung auf den Organismus des menschlichen Körpers. Gas z. B. verschlechtert die Luft durch sehr großen Sauerstoff-Verbrauch und durch Erzeugung von Kohlensäure, Kohlenoxyd, Schwefelwasserstoff und andere Verbrennungsprodukte. Schon der Gehalt von 2 bis 3 Procent Leuchtgas in der Luft wirkt tödlich auf Menschen und Thiere ein.

3. Gemälde, Dekorationen, Tapeten, Metallverzierungen u. s. w. erleiden nur durch elektrisches Licht keinen Schaden.

4. Bei Bogenlicht erscheinen die Gegenstände in ihrer natürlichen Farbe.

5. In gut installierten Anlagen ist jede Feuersgefahr ausgeschlossen.

6. Keine Gefahr durch Explosion oder Erstickung.

7. Vollkommen ruhiges Licht. Das Zucken und Wechseln in der Lichtintensität hat in zweckentsprechenden Anlagen aufgehört.

8. Schnelligkeit und Bequemlichkeit der Handhabung.

9. Erzielung der höchsten Lichteffekte, Koncentrierung sehr großer Licht-Intensitäten an einem Punkte (Effektbeleuchtungen, Beleuchtungen auf Leuchtthürmen, Signallichter u. s. w.).

Mit den Lichteffekten des elektrischen Bogenlichtes kann keine andere Lichtquelle konkurrieren.

10. Die elektrische Beleuchtung kommt im Großen an Billigkeit jeder anderen Lichtquelle annähernd gleich und überbietet jede derselben, wenn eine Wasserkraft zur Verfügung steht. In bestehenden Kraftanlagen kann die Kraft durch eine Dynamomaschine häufig vortheilhaft ausgenützt werden.

Kosten der elektrischen Licht- und Kraftanlagen und die Sicherheitsvorschriften befinden sich im II. Theil, 3. Buch. Weitere Sicherheitsvorschriften folgen im Anhange.

Anhang.

I. Anhang C

zur Abtheilung I der Sicherheitsvorschriften.

Sonderbestimmungen für Theaterinstallationen.[1])

Für Theaterinstallationen gelten die Vorschriften der Abtheilung I, sowie diese nicht durch die nachfolgenden Sonderbestimmungen abgeändert werden. Citierte Paragraphennummern beziehen sich auf „Abtheilung I".

I. Allgemeine Bestimmungen.

a) Zweileiterabzweige von mehr als 250 Volt Spannung sind für Heizkörper von weniger als 2 *K. W.* Effektverbrauch und für Beleuchtungszwecke nicht gestattet.

b) Die Spannung irgend eines Leiters gegen Erde darf 250 Volt nicht übersteigen.

c) Die elektrischen Leitungsanlagen sind von der Hauptschalttafel an in Gruppen zu zerlegen.

d) Dreileiteranlagen mit mehr als 250 Volt Spannung zwischen den Außenleitern sind soweit thunlich schon von den Hauptschalttafeln ab in Zweileiterzweige zwischen Mittel- und Außenleiter zu zerlegen, und die rechte Seite des Hauses an die eine, die linke an die andere Hälfte des Dreileitersystems anzuschließen.

e) Leitungen, zwischen denen mehr als 250 Volt Spannung besteht, sind, wo sie weniger als 1 *m* voneinander entfernt sind, entweder als Bleikabel (§ 7 *e* oder *f*) oder mit Isolierung mindestens nach § 7 *c* in Rohren zu verlegen.

f) In Räumen, die mehr als drei Lampen erhalten, sowie in sämmtlichen Korridoren, Treppenhäusern und Ausgängen, sind die Lampen an mindestens zwei getrennt gesicherte Zweigleitungen anzuschließen. Die Schalter und Sicherungen sind möglichst zu centralisieren und dürfen dem Publikum nicht zugänglich sein.

g) Falls eine elektrische Nothbeleuchtung eingerichtet wird, müssen die Lampen derselben an eine oder mehrere besondere räumlich und elektrisch von der Hauptanlage unabhängige Stromquellen angeschlossen sein.

II. Bestimmungen für das Bühnenhaus.

a) Für die Installationen des Bühnenhauses (Bühne, Untermaschinerien, Arbeitsgallerien und Schnürboden, Garderoben und sonstige Bühnennebenräume) gelten außerdem noch die folgenden Zusatzbestimmungen.

b) Zu § 3. Schalttafeln und Bühnenregulatoren sind derart anzuordnen, dass eine unbeabsichtigte Berührung durch Unbefugte ausgeschlossen ist.

c) Zu § 5. Bewegliche Mehrfachleitungen zum Anschluss von Bühnenbeleuchtungskörpern (Oberlichter, Koulissen, Rampen, Versatz- und Effektbeleuchtung) sowie die innerhalb dieser Beleuchtungskörper fest verlegten Leitungen dürfen um 50% stärker, als der Tabelle vom Jahre 1898 entspricht, belastet werden.

[1]) Elektrotechn. Zeitschr. 1900, S. 665.



d) Bei Zuleitungen zu Beleuchtungskörpern mit Farbenwechsel genügt für die Bemessung der gemeinschaftlichen Rückleitung der $1^1/_2$-fache Querschnitt einer Einzelleitung.

e) Zu § 6. Ungeerdete blanke Leitungen sind verboten, Flugdrähte und dergleichen dürfen zur Stromführung nicht benutzt werden.

f) Zu § 7. Dauernd fest verlegte Leitungen müssen entweder in Rohren liegen, oder flammensicher imprägniert sein, oder nach der Verlegung einen flammensicheren Anstrich erhalten.

g) Für vorübergehenhen Gebrauch bei rasch auszuführender Scenerie-Beleuchtung sind nur Leitungen nach § 7 *c* (Bezeichnung *G*) zulässig.

h) Zu §. 8. Leitungsschnur nach § 8 *a* ist bei der Bühnenbeleuchtung nur zum Anschluss von Stehlampen, nicht aber für andere Zwecke zulässig.

i) Mehrfachleitungen zum Anschluss beweglicher Bühnenbeleuchtungskörper müssen mindestens nach § 7 *b* isoliert sein, den ihren Zweck entsprechenden Grad von Biegsamkeit haben und durch eine starke schmiegsame nicht metallische Umhüllung gegen mechanische Beschädigung geschützt sein.

k) Die Befestigung der biegsamen Leitungen an ihren Koutaktstücken ist derart auszuführen, dass auch bei roher Behandlung an der Anschlusstelle ein Bruch nicht zu befürchten ist.

l) Die Kontaktstücke sind mit der Schutzumhüllung so zu verbinden, dass beim Herausziehen des Steckkontaktes die Kupferseelen an der Anschlusstelle von Zug entlastet sind.

m) Steckkontakte für Versatz- und Effectbeleuchtung müssen innerhalb widerstandsfähiger, nicht stromführender Hüllen liegen.

n) Zu § 9. Für vorübergehend gebrauchte Scenerie-Installationen dürfen die Vorschriften dieses Paragraphen ausnahmsweise unbeachtet bleiben, wenn tadelloser Draht nach § 7 *c* (Bezeichnung *G*) verwendet wird, die Verlegungsart jegliche Verletzung der Isolierung ausschließt und diese Installation während des Gebrauches bewacht wird.

o) Zu § 10. Bei dem im vorstehenden Zusatz zu § 9 erwähnten Ausnahmsfall sind Drahtschellen für Einzelleitungen zulässig und Durchführungstüllen entbehrlich.

p) Zu § 11. Die stromführenden Theile sämmtlicher Apparate im Bühnenraum brauchen nur gegen zufällige Berührung geschützt zu sein. Blanke Stromzuführungs-Kontaktplatten auf dem Fußboden sind zulässig, müssen aber, so lange sie unter Spannung stehen, bewacht und nach Gebrauch sofort ausgeschaltet oder entfernt werden.

q) Zu § 12. Die in *c*) Absatz 2 angegebene Entfernung von 25 *cm* kann auf 1 *m* erhöht werden.

r) Die Sicherungen der Anschlussleitungen für offene Bühnenbeleuchtungskörper (Oberlichter, Koulissen, Rampen, Versatz- und Effektbeleuchtung) sind im fest verlegten Theil der Leitung anzubringen.

Sie sind den im obigen Zusatz § 5 zugelassenen Stromstärken anzupassen.

s) In den vorstehend genannten Beleuchtungskörpern selbst sind Sicherungen nicht zulässig.

t) Zu § 14. Bei Regulierwiderständen, die in besonderen, nur dem Bedienungspersonal zugänglichen Räumen aufgestellt werden, kann die Schutzhülle aus feuersicherem Material wegfallen.

u) Zu § 15. Sämmtliche Glühlampen in den Arbeitsräumen, Werkstätten, Garderoben, Treppen und Korridoren des Bühnenhauses müssen mit Schutzkörben oder Schutzgläsern versehen sein, welche nicht an der Fassung, sondern an den Lampenträgern befestigt sind.

v) Die Bühnenbeleuchtungskörper und deren Anschlüsse, (Oberlichter, Koulissen, Rampen-Effekt- und Versatzbeleuchtungen) müssen folgenden Bedingungen entsprechen:

1. Die Spannung zwischen irgend zwei Leitern eines Beleuchtungskörpers darf 250 Volt nicht übersteigen.

2. Holz ist weder als Isolier-noch als Konstruktionsmaterial zulässig.

3. Die Beleuchtungskörper sind mit einem Schutzgitter abzuschließen.

4. Innerhalb der Beleuchtungskörper sind blanke Leiter dann zulässig, wenn sie gegen zufällige Berührung geschützt sind.

5. Die Oberlichter sind isoliert aufzuhängen.

6. Bei Dreileiteranlagen mit mehr als 2 mal 125 Volt sind sämmtliche auf einer Bühnenseite befindlichen Anschlusstellen für Koulissen-Versatz- und Effektbeleuchtung an dieselbe Dreileiterhälfte zu legen.

w) Zu § 16. Bühnenscheinwerfer und Projektionsapparate sind mit einer Vorrichtung zu versehen, welche das Herabfallen glühender Kohlentheilchen verhindert.

III. Überwachung.

Alle Theateranlagen bedürfen einer periodischen Revision, welche in angemessenen Zwischenräumen von einem Sachverständigen vorzunehmen ist.

II. Anhang D

zur Abtheilung I der Sicherheitsvorschriften.

Sonderbestimmugen für Schaustellungen und Räume zur Aufstapelung leicht entzündlicher Stoffe.[1])

Für die elektrische Beleuchtung von Schaustellungen und die Lagerung von Stoffen in leicht entzündlicher Form gelten die Vorschriften der Abtheilung I, so weit sie nicht durch die nachstehenden Sonderbestimmungen verschärft sind.

1. Für Beleuchtungen, welche ihren Standort nicht wechseln, müssen die Leitungen, soweit sie mit den leicht entzündlichen Stoffen in Berührung kommen können, bis in die Lampenträger, bezw. in die Anschlussdosen vollständig durch Rohre geschützt sein.

2. Beleuchtungskörper, welche ihren Standort wechseln, sind entweder

a) mit metallumhüllter Mehrfachleitung oder

b) mittels besonders geschützter Mehrfachleitung ohne Metallmantel abzuzweigen.

Im Falle *a*) ist das eine Ende der Metallumhüllung mit dem Metallmantel der Fassung leitend zu verbinden, das andere Ende ist mittels eines Hilfskontaktes an eine Hilfsleitung anzuschließen. Dieser Kontakt muss so beschaffen sein, dass er beim Einschalten früher als die Stromkontakte geschlossen und beim Ausschalten später als die Stromkontakte abgetrennt wird. Diese drei Kontakte müssen gegen einander unverwechselbar sein.

Die metallenen Gebäudetheile und Lampenträger des betreffenden Raumes sind mit der Hilfsleitung ebenfalls leitend zu verbinden. Der Querschnitt der Hilfsleitung muss mindestens gleich dem der betreffenden Abzweigleitung sein. Diese Hilfsleitung darf keine Sicherung enthalten und muss geerdet sein. In Anlagen mit einem geerdeten Leiter gilt die Verbindung mit diesem als Erdung.

Im Falle *b*) sind nur Leitungen mit einer Isolierung mindestens nach § 7 *c* der Sicherheitsvorschriften zulässig. Diese müssen ferner zum Schutz gegen mechanische

[1]) Elektrotechn. Zeitschr. 1900, S. 665.

Beschädigung mit einem Überzug aus widerstandsfähigem Material (z. B. Segeltuch, Leder, Hanfschnurumklöppelung) versehen sein.

3. Sämmtliche Schalters, Anchlussdosen und Sicherungen müssen an solchen Plätzen montiert sein, an welchen sie vor der Berührung mit leicht entzündlichen Stoffen sicher geschützt sind und müssen außerdem mit widerstandsfähigen Schutzkästen umgeben sein.

4. Mit einer beweglichen Leitung darf nur je ein Beleuchtungskörper angeschlossen werden.

5. In Schaufenstern ist Bogenlichtbeleuchtung ohne besonderen Schutz nicht zulässig, es müssen vielmehr die Bogenlampen entweder außerhalb der Schaufenster angebracht werden oder durch Glasplatten, Glaswände oder dgl. von den Auslagen derart getrennt sein, dass etwa herabfallende Kohlentheilchen die ausgestellten Gegenstände nicht erreichen können.

Die Aschenteller der Bogenlampen müssen aus Metall bestehen und mindestens 10 *cm* Durchmesser haben. Bei Bogenlampen mit eingeschlossenen Lichtbogen (Dauerbrandlampen) sind Aschenteller nicht erforderlich.

6. Die Anlagen bedürfen einer periodischen Revision, welche in passenden Zeitabständen durch einen Sachverständigen vorzunehmen sind.

III. Allgemeine technische Vorschriften, betreffend den Schutz der Telegraphen-, Telephon- und Signal-Anlagen gegen Starkströme. [1])

Herausgegeben vom k. k. österreichischen Handelsministerium.

I.

Grundsätzliche Bestimmungen über die Herstellung von Starkstromanlagen.

§ 1.

Allgemeines.

Art. 1. Die Starkstromanlagen zerfallen je nach dem Grade ihrer Gefährlichkeit in:

a) Anlagen mit Niederspannung, bei welchen die höchste Betriebsspannung 250 effektive Volt nicht überschreitet;

b) Anlagen mit Mittelspannung bis zu höchstens 1000 Volt Betriebsspannung;

c) Anlagen mit Hochspannung, welche höhere Spannungen als die vorgenannten aufweisen.

Art. 2. In Bezug auf die technische Ausführung sind zu unterscheiden:

1. Luftleitungen,
2. Kabelleitungen.

Die Luftleitungen sind bezüglich ihres Verhältnisses zu den benachbarten Schwachstromleitungen verschieden zu behandeln, je nachdem dieselben Strom zur Lichterzeugung oder Kraftübertragung leiten oder die Kontaktleitungen elektrischer Bahnen bilden.

§ 2.

Starkstromleitungen.

Art. 3. Die Leitungen für Starkströme müssen im allgemeinen einen gut isolierten, metallisch in sich geschlossenen Stromkreis darstellen. Die Benützung der Erde als Rückleitung ist nur bei elektrischen Bahnen gestattet.

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik 1901, S. 264.

Die Verlegung eines blanken oder an Erde gelegten Mittelleiters in die Erde, wie dies bei Mehrleitersystemen der Fall ist, erscheint zulässig, sofern hiedurch kein störender Einfluss desselben auf die benachbarten Telegraphen- und Telephonleitungen zu befürchten ist.

Art. 4. Bei elektrischen Bahnen kann die Rückleitung des Stromes durch die Schienen erfolgen, doch sollen die letzteren einen in Bezug auf ihre elektrische Leitungsfähigkeit genügenden Querschnitt besitzen und an den Stößen so verbunden sein, dass ein möglichst gut leitender und dauerhafter Kontakt verbürgt ist. Wird behufs Verbesserung der Schienenrückleitung ein blanker Draht in die Erde verlegt, so muss derselbe in Abständen von höchstens 30 *m* mit den Schienen leitend verbunden werden.

Art. 5. Schwachstromleitungen, welche ganz oder zum Theile mit Starkstromleitungen auf gemeinschaftlichem Gestänge geführt sind (wie z. B. die meisten Betriebstelephonleitungen der Elektricitätswerke), sind wie starkstromführende Drähte zu behandeln. Ebenso ist den Aufhänge- und Spanndrähten, auch wenn sie anscheinend vorzüglich isoliert sind, erhöhte Aufmerksamkeit zuzuwenden und sind dieselben unter Umständen gleichfalls als starkstromführende Drähte zu betrachten.

§ 3.

Gegenseitige Lage der Starkstrom- und Schwachstromleitungen.

Art. 6. Die zu einer Starkstromanlage gehörigen Leitungen sind stets auf eigenen Stützpunkten und in selbständiger Trace derart zu führen, dass ein längerer Parallellauf derselben mit den Telegraphen- und insbesondere mit den Telephonleitungen längs ein- und derselben Straße, wenn irgend möglich, vermieden wird.

Sind die parallel miteinander verlaufenden Leitungen oder ist eine Kategorie derselben in Kabeln geführt, so bedürfen die Schwachstromleitungen in der Regel keines besonderen Schutzes gegen Starkströme.

Bei Parallelführung von oberirdischen Schwachstromleitungen mit offenen Starkstromleitungen auf benachbarten, getrennten Gestängen soll thunlichst durch genügenden Abstand der Leitungen, Anbringung passender Ankerdrähte, bezw. Streben oder Anwendung eiserner einbetonierter Gestänge verhindert werden, dass die Stangen der einen Leitung auf die andere Leitung fallen können.

Art. 7. Unvermeidliche Kreuzungen der Starkstromleitungen mit den Schwachstromleitungen sind möglichst unter einem rechten Winkel und so auszuführen, dass der Vertikalabstand zwischen den Starkstrom- nnd Schwachstromdrähten im Minimum 1·0 *m* beträgt.

Die kreuzenden Starkstromdrähte sind, soweit es die örtlichen und die Betriebsverhältnisse erlauben, oberhalb der Schwachstromleitungen zu führen und es ist dafür zu sorgen, dass bei etwa eintretenden Drahtbrüchen eine metallische Berührung zwischen den Schwachstromleitungen und den starkstromführenden Drähten vollkommen ausgeschlossen bleibt.

Kreuzungen von Starkstromdrähten unterhalb der Schwachstromleitungen sollen nur bei elektrischen Bahnen mit oberirdischer Stromzuführung und bei Telephondachleitungen gestattet werden.

Art. 8. Kabel für Starkströme sind mindestens 50 *cm* von den unterirdisch verlegten Schwachstromleitungen entfernt zu führen und dürfen nur dann einen parallelen Verlauf zu diesen nehmen, wenn sie induktionsfrei sind.

Bei unvermeidlichen Kreuzungen oder Annäherungen auf weniger als 50 *cm* Abstand sind die Starkstromkabel in Eisenröhren, gemauerten Kanälen u. s. w. zu verlegen. Die Schutzhülle hat beiderseits ungefähr 1 *m* über die Kreuzungsstelle hinaus-

zureichen, und sich im Falle der Annäherung bis über jene Punkte hinaus zu erstrecken, für welche der Minimalabstand von 50 *cm* zwischen den Kabeln wieder vorhanden ist. Kommt hierbei eine metallische Schutzhülle zur Anwendung, so sind, wenn die Gefahr einer Berührung derselben mit dem zu kreuzenden oder dem genäherten Kabel vorliegt, isolierende Zwischenkörper (z. B. Ziegel, Thon- oder Schieferplatten etc.) einzulegen.

Art. 9. Oberhalb von Telegraphen- oder Telephonkabeln sollen womöglich keine Geleise für elektrische Straßenbahnen gelegt werden; für diese ist entweder die andere Straßenseite zu wählen, oder es ist die Verlegung der Schwachstromkabel zu bewerkstelligen.

Art. 10. Im Innern von Gebäuden müssen alle Theile der Sprachstromanlage inklusive der Erdleitungen von eventuell vorhandenen Starkstromdrähten möglichst entfernt gehalten, beziehungsweise so gesichert werden, dass ein Übertritt von Starkströmen in die Schwachstromanlage ausgeschlossen bleibt.

§ 4.

Besondere Vorkehrungen bei Kreuzungen von oberirdischen Starkstrom- und Schwachstromleitungen.

Art. 11. Um der Gefahr einer Berührung der sich kreuzenden Drähte vorzubeugen, gibt es nur ein vollkommenes Mittel, nämlich an der Kreuzungsstelle die Drähte der einen oder der anderen Kategorie unter die Erde — in Kabel — zu verlegen. Von diesem Mittel ist namentlich bei Kreuzungen mit Hochspannungsleitungen Gebrauch zu machen, sobald es die örtlichen Verhältnisse irgendwie zulassen.

Erscheint dieses radikale Mittel aus technischen oder ökonomischen Gründen nicht ausführbar, so sind andere Maßregeln zu treffen, je nachdem die Starkstromdrähte für hohe, mittlere oder niedere Spannung bestimmt sind und ober- oder unterhalb der Schwachstromleitungen kreuzen.

Art. 12. Hierbei wird jedoch zu beachten sein, dass die derzeit am häufigsten in Anwendung stehenden Schutzmittel, die Drähte an der Kreuzungsstelle zu isolieren, oder wie es meistens bei elektrischen Bahnen der Fall ist, Schutzdächer oder Schutzleisten an der Starkstromleitung zu befestigen, bei Mittel und Hochspannungsleitungen für sich allein als durchaus ungenügend zur Hintanhaltung gefährlicher Collisionen bezeichnet werden müssen.

Handelt es sich um Kreuzungen mit Leitungen von gefahrdrohender Spannung (über 250 Volt), so ist — außer im Falle von Provisorien — unbedingt die Anbringung anderer, sicherer wirkender Schutzmittel (Fangarme, Fangrahmen, Schutzdrähte, Schutznetze, Erdschlingen oder Erdschienen) zwischen den zu trennenden Leitungen in Erwägung zu ziehen.

A. Die Starkstromdrähte kreuzen **oberhalb** der Schwachstromdrähte.

Art. 13. In dem nach § 3, Art. 7 normalen Falle der Überführung, und zwar zunächst bei Niederspannungsleitungen, ist die Befestigung der kreuzenden Leitungen thunlichst an einer gemeinschaftlichen Stange vorzunehmen. In diesem Falle sind die Drähte an den Isolatoren stangenseitig und fest aufzubinden, sowie letztere dauernd in tadellosem Zustande zu erhalten. Die Überführung von Mittel- und Hochspannungsleitungen darf niemals an einer gemeinschaftlichen Stange ausgeführt werden.

Bei allen Kreuzungen im freien Felde sind möglichst kurze Spannweiten zu wählen und dürfen weder im kreuzenden noch in den benachbarten Spannfeldern der

oberen Leitung Drahtbünde vorkommen. Zur Befestigung der übergeführten Leitungen an den Isolatoren ist ein Bund anzuordnen, welcher das Durchgleiten des Drahtes wirksam verhindert.

Diese Maßregeln allein genügen nur bei Überführung von Niederspannungsleitungen über Schwachstromdrähte.

Art. 14. Bei Mittel- und Hochspannungsleitungen soll außerdem das Herabfallen der Starkstromdrähte infolge eines Isolatorenbruches, beim Abbrechen oder Herausfallen von Isolatorstützen etc. durch besondere, von den Isolatorstützen unabhängige Fangarme oder Fangrahmen verhütet werden. Diese sind aus starkem Eisen und so zu konstruieren, dass der Minimalabstand zwischen den Fangarmen oder Fangrahmen und den Leitungsdrähten 10 *cm* beträgt. Fangrahmen haben die Drähte zu umschließen, Fangarme sollen in der Höhe über die Isolatoren hinausreichen.

Art. 15. Kann bei Hochspannungsleitungen die Spannweite des Kreuzungsfeldes aus lokalen Rücksichten nicht hinreichend reduciert werden, um jede Gefahr eines Drahtrisses zu beseitigen, oder stehen trotz der kurzen Spannweite Drahtrisse in der Starkstromleitung infolge besonderer klimatischer Verhältnisse im Bereiche der Möglichkeit, so muss an Stelle der Fangrahmen oder Fangarme ein die Hochspannungsdrähte von drei, eventuell vier Seiten umschließendes Schutznetz angeordnet werden. Die Befestigungsrahmen der Schutznetze sind derart zu konstruieren und an den Gestängen zu befestigen, dass der Zug der Schutznetzdrähte auch bei Schneebelastung die Rahmen nicht deformiert und das Drahtnetz dabei die zum Auffangen der Leitungsdrähte geeignete Form beibehält.

Bei isolierten Netzen tragen die Rahmen die der Betriebsspannung entsprechenden Isolatoren zur Befestigung der Längsdrähte. Wird das Netz geerdet, so hat der Rahmen eine gut leitende Verbindung zwischen den Längsdrähten und der Erdleitung zu vermitteln.

Der Minimalabstand der Schutznetze nnd Rahmen von den Drähten darf bei keiner Temperatur weniger als 20 *cm* in horizontaler und 40 *cm* in vertikaler Richtung betragen. Als Längsdrähte der Netze sind entweder durchwegs mindestens 3 *mm* starke Stahldrähte oder mindestens 4 *mm* starke Stahlseile und dazwischen Stahldrähte von etwa 2 *mm* Durchmesser zu verwenden. Die Tragseile und Längsdrähte sind mit Spannvorrichtungen zu versehen. Die mit Bindedraht an den Längsdrähten unverrückbar zu befestigenden Querdrähte können aus Eisen-, Stahl- oder Bronzedrähten von mindestens 1·5 *mm* Durchmesser bestehen. Die Maschen des Netzes sollen annähernd Quadrate von höchstens 25 *cm* Seitenlänge darstellen.

Wie bei Kreuzungen überhaupt, sollen die Gestänge, an welchen Schutznetze anzubringen sind, ausreichende Festigkeit besitzen und entsprechend verankert oder verstrebt sein.

B. Die Starkstromdrähte kreuzen **unterhalb** der Schwachstromdrähte.

Art. 16. Wie schon eingangs erwähnt, kann dieser Fall zumeist nur dann eintreten, wenn die Schwachstromleitungen als Dachleitungen ausgeführt sind oder die oberirdischen Kontaktdrähte elektrischer Bahnen kreuzen. Wo diese Umstände die Überführung der Schwachstromdrähte über die Starkstromdrähte unabweislich erfordern, ist durch weitestgehende Zusammenfassung der kreuzenden Schwachstromleitungen zu Strängen die Zahl der Kreuzungsstellen thunlichst zu reducieren.

Art. 17. Bei elektrischen Bahnen bieten über den Kontaktleitungen, beziehungsweise den im Sinne des § 2 als solche zu betrachtenden Drähten parallel gezogene und geerdete Schutzdrähte den wirksamsten Schutz.

Die Schutzdrähte müssen mindestens 4 *mm* Durchmesser und 450 *kg* absolute Bruchfestigkeit aufweisen und sind auf eine mit Rücksicht auf die Lage der Schwachstromdrähte reichlich bemessene Länge in einer solchen Höhe über den Kontaktdrähten oder den als solche zu betrachtenden Spann- (Aufhänge-) Drähten anzubringen, dass die Berührung herabfallender Schwachstromdrähte mit den gefahrdrohenden Drähten verhindert wird.

Wo die eben beschriebene Anordnung nicht ausführbar ist, können die Schutzdrähte derart seitlich der Bahn angebracht werden, dass herabfallende Schwachstromdrähte unter allen Umständen zuerst mit den Schutzdrähten in Berührung gelangen müssen, bevor sie die Kontaktleitung erreichen.

Die Schutzdrähte sind an den Enden oder bei längeren Strecken in Entfernungen bis zu 50 *m* durch Kupferdrähte von mindestens 6 *mm* Durchmesser mit den Schienen zu verbinden. Die Tragvorrichtungen dieser Schutzdrähte dürfen nicht gegen Erde isoliert werden.

Art. 18. Nur da, wo die Anbringung von solchen Schutzdrähten nicht ausführbar erscheint, sind an den Stützpunkten der Schwachstromleitungen geerdete Schutznetze, welche den Strang unterhalb und seitlich umschließen, äußersten Falles sogenannte Erdschlingen oder Erdschienen zu befestigen.

Was die geerdeten Schutznetze anbelangt, so gelten hier die im Art. 15 gegebenen Konstruktionsnormen.

Erweist sich aus lokalen Rücksichten auch die Anbringung von Schutznetzen, welche die Schwachstromdrähte einschließen, als undurchführbar, so muss zu den letzten Mitteln, den Erdschienen oder Erdschlingen gegriffen werden, Vorrichtungen, welche dazu dienen, gerissene Schwachstromdrähte selbstthätig mit der Erde in Verbindung zu bringen und hierdurch den infolge der Berührung eines Schwachstromdrahtes mit der Kontaktleitung in den ersteren gelangenden Starkstrom unschädlich zur Erde abzuleiten. So wirksam dieses Mittel in Bezug auf den Schutz der Schwachstromanlage selbst erscheinen mag, ist dessen Anwendung doch thunlichst zu beschränken, weil hierbei immerhin infolge des variablen Durchhanges der Schwachstromdrähte leicht Anlass zu unbeabsichtigten Erdschlüssen gegeben werden kann.

Sind nur wenige, weit voneinander gespannte Drähte zu überführen, so wird man in solchen Fällen von Erdschlingen Gebrauch machen.

Die elliptisch geformte, circa 80 *mm* hohe und 60 *mm* breite Drahtschlinge ist aus 4 *mm* starkem Bronzedraht durch entsprechendes Biegen desselben anzufertigen und wird so an der den Isolator tragenden Stütze befestigt, dass sie den zu schützenden Draht in einer Entfernung von circa 170 *mm* vom Isolatorbunde centrisch umschließt.

Kreuzt dagegen ein Strang mit vielen eng aneinander gespannten Drähten, so sind an Stelle der Erdschlingen Erdschienen unterhalb der einzelnen Drahtschichten zu befestigen.

Die Erdschienen bestehen gleichfalls aus 4 *mm* starkem Bronzedraht und sind an den Enden soweit aufgebogen, dass gerissene Drähte nicht seitlich abgleiten können. Die Befestigung derselben an den Querträgern des Drahtständers erfolgt in Abständen von höchstens 1 *m* durch entsprechend konstruierte Träger von ungefähr 170 *mm* Ausladung und in einer solchen Höhe, dass die Drähte bei normaler Spannung mindestens 40 *mm* von den Schienen abstehen. In ähnlicher Weise lassen sich derartige Schienen auch an Mauerträgern anbringen.

Natürlich müssen die Erdschlingen und Erdschienen an beiden das Kreuzungsfeld einschließenden Stützpunkten angebracht werden.

Die Befestigung der Erdschlingen, bezw. Erdschienen an den mit Erdleitungen zu versehenden Stützpunkten muss eine gut leitende, dauernde Verbindung zur Erde vermitteln.

Art. 19. Kreuzen ungeerdete Starkstromleitungen unterhalb des Schwachstromleitungsstranges, was, wie erwähnt, normal nur bei Dachleitungen der Fall sein wird, so sind entweder die Schwachstromleitungen mit geerdeten Schutznetzen zu umschließen, eventuell durch Anbringung von Erdschlingen oder Erdschienen (siehe Art. 18) gegen den Übertritt von Starkstrom zu sichern, oder die Starkstromdrähte seitlich und oberhalb von einem geerdeten Schutznetze, welches nach dem im Artikel 15 gegebenen Bedingungen zu konstruieren ist, so einzuschließen, dass herabfallende Schwachstromdrähte mit den starkstromführenden Leitungen in keine Berührung kommen können, ohne Erdschluss zu erhalten. Die Umschließung der Starkstromdrähte mittelst eines Schutznetzes muss unbedingt ausgeführt werden, ob nun Schutznetze oder Erdschienen an den Stützpunkten der Schwachstromanlage vorhanden sind oder nicht, sobald die starkstromführenden Drähte für Hochspannung bestimmt sind.

II.

Maßregeln zur Sicherung der Schwachstromanlagen gegen die Wirkungen der Starkströme.

§ 5.

Allgemeines über die Wirkungen der Starkströme.

Art. 20. Im vorhergehenden Abschnitte wurde eingehend erörtert, welche Bedingungen an die Starkstromanlage in Bezug auf die gegenseitige Lage der Starkstrom- und Schwachstromleitungen gestellt, welche mechanischen Schutzmittel an unvermeidlichen Kreuzungen der Luftleitungen angebracht werden müssen, um die Beeinflussung der Schwachstromanlage durch Starkstrom und die Möglichkeit gefährlicher Collisionen zwischen den Drähten hintanzuhalten. Außerdem wird es nothwendig sein, noch gewisse Vorkehrungen in der Schwachstromanlage zur Durchführung zu bringen, welche für den Fall, als die im I. Abschnitte angegebenen Mittel aus irgend welchen Gründen unwirksam bleiben oder in Ausnahmsfällen versagen sollten, die Wirkungen der Starkströme zu paralysieren geeignet sind.

Art. 21. Unter allen Umständen muss angestrebt werden, dass

1. der Betrieb der Anlage durch Starkströme keine merkbare Störung erleidet,

2. die Schwachstromapparate und die mit solchen ausgestatteten Räumlichkeiten durch gefahrdrohende Erhitzung einzelner Theile der Anlage nicht gefährdet werden,

3. jede Bedrohung der mit den Leitungen und Apparaten beschäftigten Personen an Leben oder Gesundheit unbedingt vermieden bleibt.

Art. 22. Betriebsstörungen durch Starkstrom können sowohl durch Fernwirkung (Induktion etc), als auch durch Stromübergänge herbeigeführt werden. Abhilfe lässt sich in solchen Fällen, vorausgesetzt, dass die Starkstromleitungen der Spannung entsprechend isoliert sind, nur durch Verlegung der starkstromführenden Drähte oder entsprechende Rekonstruktion der Schwachstromanlage (Überführung in Kabel, Umwandlung in Doppelleitungen, Umlegung von Erden etc.) erzielen.

Art. 23. Die beiden im 21, sub 2 und 3 genannten, direkt Leben und Eigenthum bedrohenden Wirkungen der Starkströme werden ausschließlich durch zufällige Berührung zwischen Starkstrom- und Schwachstromleitungen verursacht.

Diesen trotz aller erdenklichen Vorsicht immerhin im Bereiche der Möglichkeit liegenden Gefahren wirksam zu begegnen, müssen die Apparate und dadurch gleichzeitig die mit denselben manipulierenden Personen durch Zwischenschaltung geeigneter Sicherungen, welche selbstthätig im Momente der Gefahr die zu den Apparaten führenden Leitungen unterbrechen, geschützt werden.

Nur durch gleichzeitige Anwendung der bereits besprochenen mechanischen Schutzmittel gegen gefährliche Drahtberührungen und der elektrischen Sicherungen lässt sich ein ausreichender Schutz für die Schwachstromanlage und die daran betheiligten Personen erzielen.

§ 6.

Maßregeln zur Verhütung von Betriebsstörungen durch Fernwirkung und Stromübergang.

Art. 24. Treten Störungen im Betriebe von Telegraphen, und Telephonanlagen auf, trotzdem die benachbarten, starkstromführenden Drähte gegen Erde ausreichend isoliert und die Hin- und Rückleitungen in einem möglichst geringen und überall gleichen Abstand geführt sind, so lässt sich diesen Störungen nur dadurch begegnen, dass die Entfernung zwischen den sich beeinflussenden Leitungen vergrößert, eventuell die eine oder die andere Leitungskategorie in Kabel verlegt wird.

Welches dieser Mittel in einem speciellen Falle anzuwenden ist, hängt wesentlich von den örtlichen Verhältnissen ab. Handelt es sich hierbei um Induktionserscheinungen in Telegraphenleitungen, so wird es zumeist genügen, für die Starkstrom- und Schwachstromleitungen verschiedene Straßenseiten zu wählen.

Bei Telephonleitungen dagegen, namentlich, wenn die Starkstromanlage mit Wechselströmen betrieben oder durch Ein- und Ausschalten von Elektromotoren eine variable Stromintensität in den Leitungen hervorgerufen wird (wie z. B. bei elektrischen Bahnen), wird man infolge der weit höheren Empfindlichkeit der Apparate damit den beabsichtigten Zweck nicht erreichen, sondern entweder ausschließlich richtig gekreuzte Schleifenleitungen herstellen oder eine vollständige räumliche Trennung der Anlagen durch Verlegung einer Leitungskategorie in eine andere Trace oder unter die Erde bewerkstelligen müssen.

Art. 25. Bei elektrischen Bahnen, welche die Schienen als Rückleitung benützen, ist außer der Induktion noch ein eventueller Stromübergang durch die Erde in benachbarte einfache Telephon- und Telegraphenleitungen zu befürchten. Verlaufen diese Leitungen in derselben Trace mit den starkstromführenden Drähten, so wird ohnedies wegen der Induktionswirkungen häufig die Umwandlung der Einfachleitungen in Doppelleitungen erforderlich sein. Andersfalls, wenn die Störungsursachen nur in Stromübergängen durch die in der Nähe der Schienen befindlichen Erdplatten gelegen sind, werden sich die auftretenden Störungen durch Verlegung der betreffenden Erdleitungen in größere Entfernung von den Schienen beheben lassen.

§ 7.

Schmelzsicherungen.

Art. 26. Befinden sich in der Nähe von oberirdischen Schwachstromleitungen starkstromführende Drähte in einer solchen gegenseitigen Lage, dass die Möglichkeit einer Berührung von Starkstrom- und Schwachstromdrähten nicht gänzlich ausgeschlossen ist, so müssen sämmtliche an die Schwachstromleitungen dieser Anlage direkt angeschalteten Apparate dadurch gedeckt werden, dass in jeden an eine Apparatklemme geführten Außendraht eine Schmelzsicherung eingefügt wird.

Die Schmelzsicherung besteht aus einem Schmelzdrahte von mindestens 6 *cm* Länge, welche in einem beiderseits durch Metallkappen abgeschlossenen Glasröhrchen eingeschlossen ist. An die innen mit Gyps überzogenen Kappen sind die Drahtenden so angelöthet, dass der Draht sich möglichst genau in der Achse des Röhrchens befindet.

Die oben angegebene Länge von 6 *cm* bietet nur gegen Betriebsspannungen bis zu etwa 600 Volt einen genügenden Schutz. Handelt es sich um Sicherungen gegen höher gespannten Strom, so muss die Schmelzdrahtlänge entsprechend vergrößert werden, um die Bildung eines Lichtbogens hintanzuhalten.

Die so konstruierte Schmelzpatrone, auf welcher die Abschmelzstromstärke deutlich und dauernd ersichtlich gemacht sein muss, wird in federnde Klemmen eingeschoben welche auf unbrennbarem und nicht hygroskopischem Materiale von hinreichender, Isolierfähigkeit, am besten Porzellan, und in einer solchen Entfernung von einander montiert sind, dass kein Nebenschluss zwischen denselben zu befürchten ist.

Art 27. Hinsichtlich der Schmelzstromstärke sind zu unterscheiden:

1. Grobsicherungen, deren Schmelzdrähte bei der für die Leitungen noch nicht gefährlichen Stromstärke von 5 *A* abschmelzen, jedoch den Wirkungen der Blitzes Widerstand leisten.

2. Feinsicherungen, welche bei der im allgemeinen den Apparaten noch nicht gefährlichen Stromstärke von 0·5 bis 1·0 *A* abschmelzen.

Die Grobsicherungen sind stets vor der normalen Blitzschutzvorrichtung, die Feinsicherungen hinter derselben, beide aber so nahe als möglich der Einführung zu schalten. Mit der Grobsicherung ist eine grobe Blitzschutzvorrichtung dadurch zu verbinden, dass die die Leitungsklemmen tragenden Messingschienen gezahnt und einer gleichfalls gezahnten Erdlamelle genähert werden.

Die Grobsicherung ist unmittelbar bei der Einführung in die Station, u. zw. bei Facadeleitungen im Innern des Raumes an der Mauer, bei Dachleitungen entweder am Dachboden oder, wenn thunlich, in auf dem Dache angebrachten, gegen das Eindringen von Feuchtigkeit hinreichend geschützten Kästen, die Feinsicherung dagegen hinter der Blitzschutzvorrichtung und vor dem zur Umschaltung dienenden Apparate (Wechsel, Umschalter etc.) zu placieren. In letzterer Hinsicht ist namentlich zu beachten, dass durch keine Manipulation seitens des Betriebspersonales oder des Abonnenten beim Umschalten der Leitungen oder Ausschalten von Apparaten die Sicherung in einen Nebenschluss gelangen oder ausgeschaltet werden darf. Werden dagegen die Leitungen während eines Gewitters in der Blitzschutzvorrichtung selbst an Erde gelegt, so bleiben selbstverständlich nach obiger Anordnung nur die Grobsicherungen eingeschaltet.

Jeder in ein Amt (Telegraphenamt, Telephoncentrale) oberirdisch eingeführte Außendraht wird sonach zwei Sicherungen, und zwar je eine Grob- und eine Feinsicherung — letztere mit einer Schmelzstromstärke von 0·5 *A* — erhalten müssen.

Bei gemischten Leitungssystemen werden die Überführungsobjekte mit Grobsicherungen, die an die Kabel angeschlossenen Ämter (Telegraphenämter, Telephoncentralen) mit Feinsicherungen von 0·5 *A* Schmelzstromstärke auszurüsten sein.

Bei Abonnentenstationen genügen in der Regel Feinsicherungen von 1·0 *A* Schmelzstromstärke, welche hinter der Blitzschutzvorrichtung zu schalten sind, wogegen Grobsicherungen entfallen können. Nur dort, wo es aus lokalen Gründen nothwendig erscheint, wie bei Führung der Innenleitungen auf feuchten Mauern etc., soll auch in den Abonnentenstationen eine Grobsicherung angewendet werden.

Bei Kabelleitungen, welche mit oberirdisch geführten Drähten nicht in Verbindung stehen, wird zumeist von der Anwendung von Schmelzsicherungen gänzlich abgesehen werden können.

Art. 28. Grobsicherungen, sowie die im Innern der Gebäude bis zur Grobsicherung führenden isolierten Drähte sind von der Umgebung feuersicher abzuschließen, so dass durch Funken oder Erhitzung einzelner Theile benachbarte brennbare Stoffe nicht in Brand gerathen können.

III.

Obliegenheiten der Organe der Post- und Telegraphenanstalt in Bezug auf Starkstromanlagen.

§ 8.

Linienarbeiten während des Betriebes.

Art. 29. Die k. k. Post- und Telegraphendirektionen haben dahin zu wirken, dass, wenn in Starkstromanlagen Arbeiten ausgeführt werden sollen, durch welche eine Gefahr oder Störung an den Leitungen oder Apparaten einer benachbarten Schwachstromanlage entstehen kann, nicht nur seitens des Besitzers der betreffenden Starkstromanlage vor Inangriffnahme der Arbeiten die nöthigen Vorkehrungen getroffen werden, um solchen Eventualitäten vorzubeugen, sondern gleichzeitig auch die betheiligten Organe der Staatstelegraphenanstalt von dem Vorhaben Kenntnis erhalten. Letzteren obliegt es dann, auch bezüglich der ihnen anvertrauten Anlagen alle zum Schutze der Einrichtung und des Personales nöthigen Maßregeln unverzüglich zu treffen.

Art. 30. Umgekehrt ist von diesen Organen die Unternehmung der Starkstromanlage zu verständigen, und um Durchführung der entsprechenden Vorkehrungen zu ersuchen, wenn Arbeiten an Schwachstromleitungen in der Nähe von starkstromführenden Drähten auszuführen sind. Erfolgen solche Arbeiten in der Nähe von Mittel- oder Hochspannungsanlagen, so müssen sämmtliche mit den Drähten manipulierenden Arbeiter und Aufseher unbedingt mit Gummihandschuhen und mit Werkzeugen, deren Griffe aus Isoliermaterial bestehen oder mit solchen überzogen sind, ausgerüstet sein. Keinesfalls dürfen irgendwelche Arbeiten oder Reparaturen während des Betriebes einer Hochspannungsanlage vorgenommen werden, bei welcher die Arbeiter direkt oder indirekt in Berührung mit einem Hochspannungsdrahte kommen können.

Art. 31. Linienstränge oder Leitungen, die für längere Zeit außer Betrieb gesetzt sind, gleichviel, ob sie zur Starkstrom- oder zur Schwachstromanlage gehören, müssen entweder abgetragen oder in Bezug auf ihre Konstruktionen und gegenseitige Lage wie im Betriebe befindliche erhalten und überwacht werden. Es empfiehlt sich, solche ausgeschaltete Leitungen unter sich und mit der Erde gut leitend zu verbinden.

Die Ausführung von Leitungen, die nur für vorübergehenden Gebrauch bestimmt sind (Provisorien), ist nach Thunlichkeit zu vermeiden, hat aber im übrigen nach den in diesen Vorschriften gegebenen Direktiven zu erfolgen.

§ 9.

Überwachung der Starkstromanlagen.

Art. 32. Die mit der Erhaltung der Schwachstromanlagen betrauten Organe sind verpflichtet, den Zustand der benachbarten Starkstromleitungen insoweit zu überwachen, als es im Hinblicke auf die Sicherung gegen Störungen oder Beschädigungen erforderlich erscheint. Im allgemeinen hat sich diese Verpflichtung nur darauf zu beschränken, durch die zeitweise Revision der Außenleitungen die tadellose Beschaffenheit der Gestänge und

Leitungsdrähte die Isolationsvorrichtungen, Erdleitungen etc. zu konstatieren, weiters zu erheben, ob nicht durch Änderungen im Leitungsnetze der Starkstromanlage, bezüglich welcher übrigens der Unternehmer vor Durchführung derselben die Anzeige zu erstatten hat, oder durch Verlegung von bestehenden oder Herstellung von neuen Schwachstromleitungen die Ausführung weiterer Sicherheitsvorkehrungen zum Schutze der Schwachstromanlage geboten ist.

Solche Revisionen sind namentlich bei Kreuzungen oder Parallelführung der Leitungen besonders häufig und genau vorzunehmen.

Art. 33. Ergibt sich anlässlich dieser Revisionen die Nothwendigkeit schleuniger Abhilfe, so sind die erforderlichen Maßregeln, soweit deren Durchführung von der k. k. Post- und Telegraphendirektion, beziehungsweise den derselben unterstellten Organen verfügt werden kann, sofort, ohne Rücksicht darauf, ob bezüglich der Tragung der Kosten eine Entscheidung bereits getroffen ist oder nicht, zur Durchführung zu bringen; wenn jedoch die Umstände eine partielle Rekonstruktion oder Ergänzung der Starkstromanlage bedingen, so ist seitens der k. k. Post- und Telegraphendirektion mit allem Nachdrucke kompetenten Orts die schleunigste Abhilfe, nöthigenfalls die sofortige Betriebseinstellung zu verlangen.

Art. 34. Wenn Privat-Telephon- und Telegraphenleitungen staatliche Schwachstromleitungen kreuzen oder letzteren so nahekommen, dass Berührungen möglich erscheinen, so haben sich die Aufsichts- und Erhaltungsorgane durch zeitweise Revisionen die Überzeugung zu verschaffen, dass erstere gegen Übertritt vom Starkstrom hinreichend gesichert sind, um jede Gefährdung der staatlichen Schwachstromanlage auszuschließen. Sollte dies nicht der Fall sein, so ist unverzüglich das Erforderliche zu veranlassen.

§ 10.

Feuerpolizeiliche Maßregeln.

Art. 35. In den größeren Telegraphenstationen und Telephoncentralen sind die Räume, wo die Sicherungen untergebracht sind, thunlichst permanent zu überwachen. Wenn bei Gewitter, Sturm und Schneefall etc. Collisionen mit Starkstromleitungen zu befürchten sind, ist das erforderliche Aufsichtspersonale in Bereitschaft zu halten. In diesen Fällen sind auch in kleineren Stationen und Centralen die Sicherungen zu bewachen.

In allen den vorgenannten Dienstlokalitäten müssen sowohl in der Nähe der Sicherungen als auch in den Apparatsälen ausreichende und sicher funktionierende Feuerlöschapparate vorhanden sein.

Außerdem soll im Einvernehmen mit den Ortsbehörden dafür Sorge getragen werden, dass die Organe der Feuerwehr mit den Einrichtungen der Schwachstromanlage und den einschlägigen Arbeiten vertraut sind.

§ 11.

Vorfallenheitsprotokoll. — Berichterstattung.

Art. 36. Über die bei den Revisionen erhobenen Anstände, sowie über alle Vorfallenheiten, welche sich infolge der Starkstromanlagen ergeben (Leitungs- und Betriebsstörungen, Collisionen von Schwachstrom- und Starkstromdrähten, Abschmelzen von Sicherungen etc.) sind von den mit der Erhaltung der Schwachstromanlagen betrauten Organen genaue Aufzeichnungen zu führen und in der Form von Vorfallenheitsprotokollen vierteljährlich der vorgesetzten Post- und Telegraphendirektion einzusenden.

Die technischen Abtheilungen der Direktionen haben aus diesen Vorfallenheitsprotokollen Zusammenstellnngen über den jeweiligen Stand der in der Nähe von Schwachstromleitungen im Betriebe befindlichen Starkstromanlagen und eine Statistik über die in den einzelnen Anlagen auftretenden Störungen, sowie deren Ursachen zu verfassen, welche Elaborate alljährlich dem Handelsministerium zur Einsicht vorzulegen sind.

Art. 37. In wichtigeren Fällen ist überdies unverzüglich an die vorgesetzte Post- und Telegraphendirektion zu berichten, welche je nach Umständen entweder im eigenen Wirkungskreise die weiteren Verfügungen zu treffen oder die Entscheidung des Handelsministeriums einzuholen hat. Ebenso ist auch unter Darlegung des Sachverhaltes und eventueller Antragstellung Bericht zu erstatten, falls sich Zweifel oder Schwierigkeiten bezüglich der Anwendung der vorstehenden Vorschriften oder hinsichtlich des Behebung bedeutender, auf Starkstromanlagen zurückführender Störungen ergeben sollten.

Namen- und Sachverzeichnis.

Die Namen, Firmen und Zeitschriften sind gesperrt gesetzt.

Berichtigungen und Nachträge.

Seite 129, Zeile 12 v. o. lies c_1, statt c_2.

„ 233, „ 11 v. o. lies einphasiger Wechselstrom, statt Wechselstrom. Siehe auch § 111, S. 264.

„ 236, „ 11 v. u. lies 220 Volt, statt 250 Volt.

„ 244, „ 11 v. u. lies 2. Theil, statt 4. Theil.

„ 254, „ 3 v. o. lies sowohl, statt sowie.

„ 262, „ 21 v. o. lies 80—87, statt 70—87.

„ 263, „ 2 v. o. lies Werken, statt Werten.

„ 264, „ 7 v. o. lies Stromarten, statt Stromsysteme.

„ 264, „ 12 v. o. lies Sammler, statt Sammlern.

„ 264, „ 18 v. o. lies Der, statt Des.

„ 265, „ 5 v. o. lies werden, statt waren.

„ 265, „ 6 v. u. lies Bogenlampen, statt Bodenlampen.

„ 270, „ 2 v. o. lies beziehungsweise Feuersicherheit, statt die Feuersicherheit.

„ 271, § 117. Siehe als maßgebend die Sicherheitsvorschriften (II. Th., 3. B.).

„ 272, Zeile 6 v. u. Bei großen Anlagen wird umgekehrt zumeist mit niederwattigen anstatt mit normalen Lampen gerechnet, weil nie sämmtliche montierte Lampen eingeschaltet sind.

„ 290, „ 3 v. o. lies abzugebende, statt anzugebende.

„ 293, „ 7 v. o. lies überall gleichstarke Ausgleichsleitung, statt Ausgleichsleitung.

„ 293, „ 9 v. u. lies $B = J_2$, statt B.

„ 293, „ 2 v. u. lies $i_2 w_2$, statt $e_2 w_2$.

„ 293, „ 1 v. u. ist zu streichen.

„ 293. Am Schlusse dieser Seite ist einzuschieben: Die Spannung in $A = E - e_1$, in $B = E - e_2$ und somit $e = (E - e_1) - (E - e_2) = e_2 - e_1 =$ = Spannungsunterschied zwischen A und B.

„ 294, Zeile 4 v. o. lies $e = J_2 w_2 - i w_2 - J_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 - i w_1$,

statt $e = J_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 + i w_1 - J_2 w_2 + i w_2$.

„ 294, „ 6 v. o. lies $i (w_1 + w_2) = J_2 w_2 - J_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 - e$,

statt $i (w_1 + w_2) = e - J_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 + J_2 w_2$.

„ 294, „ 7 v. o. lies $i = \frac{J_2 w_2 - J_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 - e}{w_1 + w_2}$,

statt $i = \frac{e - J_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 + J_2 w_2}{w_1 + u_2}$.

„ 295, „ 1 und 2 v. o. lies in der Klammer (Die Berechnung von y_1 und y_2 erfolgt wie für Fig. 342 oben), statt (Die Berechnung erfolgt wie für Fig. 17 oben).

Seite 295, Zeile 16 v. o. lies $e = e_2 - e_1$, statt $e = e_1 - e_2$.

„ 295, „ 14 v. u. lies $e = (J_2 - y_2) w_2 - i w_2 - J_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 - y_2 w_1 - i w_1$,

statt $e = J_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 + y_2 w_1 + i w_1 - (J_2 - y_2) w_2 + i w_2$.

„ 295, „ 12 v. u. lies $i (w_1 + w_2) = (J_2 - y_2) w_2 - J \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 - y_2 w_1 - e$,

statt $i (w_1 + w_2) = e - J_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 - y_2 w_1 + (J_2 - y_2) w_2$.

„ 295, „ 11 v. u. lies $i = \frac{(J_2 - y_2) w_2 - J_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 - y_2 w_1 - e}{w_1 + w_2}$,

statt $i = \frac{e - J_1 \left(1 - \frac{p}{100}\right) w_1 - y_2 w_1 + (J_2 - y_2) w_2}{w_1 - w_2}$.

„ 296, „ 1 und 2 v. o. lies „Bei Ausgleichsleitungen, welche gleichzeitig Vertheilungsleitungen sind, ergeben sich jedoch bei der Berechnung so vielerlei Komplikationen, dass es empfehlenswert ist, die Bestimmung der zu suchenden Werte graphisch vorzunehmen“, statt „In ähnlicher Weise wie für zwei Speisepunkte, bestimmt man die Ausgleichsleitungen für mehrere miteinander verbundene Speisepunkte“.

„ 296, Fig. 360 fehlt der Buchstabe a. Derselbe gehört dorthin, wo die zweite Senkrechte die Gerade AB schneidet.

„ 297, „ 362 lies „Hilfsdreiecke von Fig. 361 in umgestürzter Lage. Einfügung des Stromvertheilungs-Diagrammes“, statt „Erklärung zu Fig. 360“.

„ 298, Zeile 8 v. o. lies Stromstärken $i_2 + i_3$, statt Stromstärke $i_1 - i_3$.

„ 298, „ 12 v. o. lies B, statt c.

„ 298, „ 14 v. o. lies V_x, statt vx.

„ 298, „ 16 v. u. lies Fig. 361, statt Fig. 362.

„ 298, „ 10 v. u. lies Cd, statt cd.

„ 298, „ 5 v. u. lies Stromverlaufes, statt Stromverlustes.

„ 300, „ 6 v. u. lies V_x, statt vx.

„ 300, Fig. 365 lies „Diagramm der Spannungsverluste und des Stromverlaufes für eine zweiseitig gespeiste Leitung.“, statt „Diagramm des Stromverlaufes.“

„ 301, Zeile 5 v. o. lies Drehstromanlage, statt Wechselstromanlage.

„ 301, „ 9 v. o. lies bei gleichzeitig geringer Stromstärke und Leitungslänge der Spannungsverlust, statt der Spannungsverlust.

„ 301, „ 17 v. o. lies Einphasen- und Drehstromsystem, statt Drehstromsystem.

„ 301, „ 2 v. u. lies Wechselstrom bei drei Leitungen, statt Wechselstrom.

„ 302, „ 6 v. o. lies $v_3 = 2 k n J_1 l_1$, statt $v = 2 k n J_3 l_3$.

„ 302, „ 7 v. o. lies Wechselstrom bei drei Leitungen, statt Wechselstrom.

„ 302, „ 8 v. o. lies $v_4 = \sqrt{3}\, k n J_2 l_2$, statt $v_4 = \sqrt{3}\, k n J_4 l_4$.

„ 302, „ 9 v. o. lies der gegenseitigen Leitungsentfernung und der Periodenzahl abhängige Konstante, statt abhängige Konstante.

„ 302, „ 10 v. o. lies $J_1 J_2$, statt $J_3 J_4$ und $l_1 l_2$, statt $l_3 l_4$.

Seite 302, Zeile 13 v. o. ist einzuschieben: bei 600 *mm* gegenseitiger Entfernung und $n = 50$ Perioden in der Sekunde.

„ 302, „ 12 v. u. lies Freileitung mit drei Drähten, statt Freileitung.

„ 302, „ 3 v. u. lies einem Leistungsfaktor, statt einer Phasenverschiebung.

„ 302, „ 2 v. u. lies Leiter (Dreieckschaltung), statt Leiter.

„ 303, „ 3 v. o. lies einen Leistungsfaktor, statt eine Phasenverschiebung.

„ 303, Fig. 366 lies $E_J = 45$, statt $E_J = 48$.

„ 303, „ 366 lies Drehstromanlage mit induktiver Belastung, statt Wechselstromanlage mit induktiver Belastung.

„ 304, Zeile 8 v. o. lies Ohm'scher Widerstand, statt Widerstand.

„ 304, Zeilen 16, 18, 22 und 23 v. o. lies E_J, statt E_s.

„ 304, Zeile 16 v. u. lies oder, statt und.

„ 304, Zeilen 11 bis 14 v. u. sind zu streichen.

„ 309, Zeile 4 v. o. entfällt.

„ 309, „ 8 v. o. entfällt.

„ 309, „ 12 v. o. entfällt.

„ 309, „ 14 v. o. lies $\frac{1{\cdot}73 . E . I . 0{\cdot}7}{800}$, statt $\frac{1{\cdot}73 . E . I . 0{\cdot}8}{800}$.

„ 309, „ 10 v. u. lies 1·73.130.20, statt 1·75.130.20.

„ 309, „ 5 v. u. lies Elektromotoren (Synchron-Wechselstrommotoren bei cos $\varphi = 1$), statt Elektromotoren, weil bei den übrigen Wechselstrommotoren cos $\varphi < 1$ ist.

„ 309, „ 1 v. u. lies 0·66, statt 0·6.

„ 310, „ 6 v. o. streiche das Wort zwischen.

„ 310, „ 7 v. o. lies 130, statt 140.

„ 310, „ 15 v. o. lies der Sternschaltung, statt den Sternschaltungen.

„ 310, „ 16 v. o. lies Elektromotoren (Synchron-Wechselstrommotoren bei cos $\varphi = 1$), statt Elektromotoren.

„ 310, „ 18 v. o. lies $4500 : 900 = 5\,P.S.$, statt $4500 : 90 = 5\,P.S.$

„ 310, ad Beispiel 3. Richtiger rechnet man den Spannungsverlust nach der Formel 2, S. 301, Zeile 1 v. u., wobei I_2 und w_2 beziehungsweise I und w_2 gegeben sind.

„ 311, Zeile 3 v. o. Genauer sind die Werte der Tabelle auf S. 279.

„ 311, „ 6 v. o. lies (Glühlampen, Bogenlampen ohne Drosselspulen, Synchronmotoren bei cos $\varphi = 1$), statt (Glühlampen).

„ 312, „ 2 v. o. lies Gleichstrom-Elektricitätswerk, statt Elektricitätswerk.

„ 312, „ 10 v. o. lies Consumspannung und mit geerdetem Mittelleiter zugrunde gelegt. Es sind daher die Niederspannungsvorschriften (II. Th., 3. B., S. 196) zulässig, statt Consumspannung zugrunde gelegt.

„ 312, Fig. 368. Der große Punkt der Figur soll mit 1 bezeichnet sein.

„ 314, „ 370. Senkrecht über der Ziffer 3 soll über dem Pfeile ebenfalls 3 stehen.

„ 315, Zeile 14 und 15 v. o. lies Dem größeren der erhaltenen Querschnitte, statt Den erhaltenen Querschnitten.

„ 315, „ 6 v. u. lies beträgt bereits, statt beträgt.

„ 317, lies y_1, statt i_1 und y_2, statt i_2.

„ 318, Zeile 19 v. u. lies laut Sicherheitsvorschriften des elektrotechnischen Vereines in Wien (II. Th., 3. B., S. 233) in außergewöhnlichen Fällen, statt in außergewöhnlichen Fällen.

Seite 318, Zeile 2 v. u. streiche die drei Wörter auf den Seiten.
„ 319, „ 1 v. o. lies y_1 statt i_1.
„ 319, „ 2 v. o. lies y_2, statt i_2.
„ 319, „ 8 v. u. lies $\left(\frac{87-i}{2}\right)$, statt $\left(\frac{77-i}{2}\right)$.
„ 319, „ 5 v. u. lies $e_2 - e_1 = \frac{1}{57}\left[\frac{27\,(87-i)}{2} - \frac{62\,(116+i)}{5}\right]$,

statt $e_1 - e_2 = 6 = \frac{1}{57}\left[\frac{62\,(116+i)}{5} - \frac{27\,(87-i)}{2}\right]$.

„ 319, „ 4 v. u. lies $i = -23{\cdot}4$ Amp., statt $i = 3{\cdot}01$ Amp.
„ 319, „ 3 v. u. lies müsste, statt muss.
„ 319, „ 2 v. u. lies $q_7 = \frac{\frac{2}{2}\left[(13\times 85)+(19\times 165)+(15\times 285)-(23{\cdot}4\times 355)\right]}{57\times 6}$,

statt $q_7 = \frac{\frac{2}{2}\left[(13\times 85)+(19\times 165)+(15\times 285)+(3{\cdot}01\times 355)\right]}{57\times 6}$

„ 319, „ 1 v. u. lies $q_7 = 0{\cdot}6\ mm^2$, statt $q_7 = 28\ mm^2$.
„ 320. Anstatt der Zeilen 1 bis 8 v. o. ist einzuschalten:

Dass dieser Querschnitt nicht benützt werden kann, ist ohneweiteres erkennbar. Gleichzeitig gelangt man zu dem Schlusse, dass der, in sonstiger Hinsicht zwischen den Speisepunkten zulässige Spannungsunterschied von 6 Volt, für den vorliegenden Fall zu groß erscheint. Es muss nun der umgekehrte Weg eingeschlagen und von einem gwählten Querschnitt zurückgerechnet werden. Über die mindestens nothwendige Größe des Querschnittes sind folgende Anhaltspunkte vorhanden. Wie bereits oben erwähnt, geben die Speisepunkte A und B bei Normalbelastung 23 beziehungsweise 24 Amp. an die Leitung $A\,\bar{}\,7\,\bar{}\,B$ ab. Der größeren Stromstärke (für einen Leiter $= \frac{24}{2} = 12$ Amp.) würde laut Sicherheitsvorschriften ein Querschnitt von 4 mm^2 genügen. Aus Festigkeitsrücksichten müssten 6 mm^2 genommen werden. Ferner ergibt sich bei Normalbelastung und 0 Volt maximalem Verlust, für $A\,\bar{}\,7\,\bar{}\,B$ als Vertheilungsleituug der Querschnitt:

$$q = \frac{\frac{2}{2}\left[(13\times 85)+(10\times 165)\right]}{57\times 6} = 8{\cdot}1\ mm^2.$$

Von den Fabrikationsquerschnitten (II. T., 3. B., S. 240) liegt dem größten der gefundenen Werte jener von 10 mm^2 am nächsten. Wir gehen jedoch noch weiter und wählen für die Außenleiter $q_7 = 16\ mm^2$ und für den Mittelleiter den Querschnitt von 10 mm^2. Für den Fall der Entlastung von A um 30 Amp. ergibt die Rückrechnung nun folgende Resultate. In einem beliebigen Punkte des geschlossenen Leitungsringes Centrale $\bar{}A\bar{}\,7\,\bar{}B$-Centrale muss der Spannungsabfall von der Centrale über A gleich jenem von der Centrale über B sein; also z. B. für den Punkt B:

$$e_1 + \frac{\frac{2}{2}}{57\times 16}\left[(13\times 85)+(19\times 165)+(15\times 285)+(i\times 355)\right] = e_2.$$

Wie früher entwickelt ist $(e_2 - e_1) = \frac{1}{57}\left[\frac{27(87-i)}{2} - \frac{62(116-i)}{5}\right]$,

also $\frac{1}{57}\left[532\cdot19 + 22\cdot19\,i\right] = \frac{1}{57}\left[-263\cdot9 - 25\cdot9\,i\right]$, und $i = -16\cdot55$ Amp., d. h. es fließen nunmehr von dem Speisepunkte B in die Leitung $A^{-}7^{-}B =$ $= 16\cdot55$ Amp. ab, während an dieselbe Leitung $= (13 + 19 + 15) - 16\cdot55 =$ $= 30\cdot45$ Amp. abgibt. Für die auf einen Leiter entfallende Stromstärke $(= \frac{16\cdot55}{2} = 8\cdot3$ Amp. beziehungsweise $= \frac{30\cdot45}{2} = 15\cdot2$ Amp.) ist der gewählte Querschnitt laut den Sicherheitsvorschriften ebenfalls ausreichend. Setzen wir die gefundene Stromstärke i in die früher aufgestellten Formeln ein, so finden wir ferner noch folgende Werte:

$i_1 = 92 + 9 + 15 - 16\cdot55 = 99\cdot45$ Amp., $i_2 = 111 - 9 - 15 + 16\cdot55 = 103\cdot55$ Amp.

$$e_1 = \frac{2 \times 620\left(\frac{116 - 16\cdot55}{2}\right)}{57 \times 50} = 21\cdot63 \text{ Volt}, \quad e_2 = \frac{2 \times 270\left(\frac{87 + 16\cdot55}{2}\right)}{57 \times 20} = 24\cdot53 \text{ Volt.}$$

Der Spannungsunterschied zwischen den beiden Speisepunkten ist jetzt $e = 24\cdot53 - 21\cdot63 = 2\cdot9$ Volt.

Die Richtigkeit dieser Rechnung kann leicht durch die graphische Bestimmung der einzelnen Werte nachgewiesen werden.

Seite 320, Zeile 20 v. u. streiche Fig. 380.

„ 320, Zeilen 11 und 12 v. u. sollen heißen: Die Kontrolleitungen sind in Anbetracht der geringen Länge nur mit dem laut Sicherheitsvorschriften zulässigen Mindestquerschnitt von 6 mm^2 auszuführen.

„ 328, Zeile 8 v. u. streiche r. Bis

„ 332, „ 9 v. o. lies E, statt C.

„ 335, „ 3 v. o. lies magnetelektrische Maschine, statt Magnetmaschine.

„ 335, „ 19 v. o. lies bestrebt, statt hestrebt.

„ 358, Fig. 404, lies r, statt W.

„ 367, „ 412, lies d_1, statt c_1.

„ 368, „ 413, lies d_2, statt c_2.

K. und K. Hofbuchdruckerei Karl Prochaska in Teschen.

